ENDEAVOUR

Revue trimestrielle destinée à tenir registre du progrès
des sciences au service du genre humain

VOLUME V AVRIL 1946 NUMÉRO 18

Le rôle social de la science

Les progrès réalisés pendant la guerre en science appliquée, et dont le développement de l'énergie atomique n'est qu'un exemple, ont enfin fait réaliser au grand public que la science est devenue, pour le meilleur ou pour le pire, un facteur dominant de notre vie journalière. Les gouvernements des Nations Unies concentrent à juste titre leur attention sur le problème du rôle futur de la science et des savants dans la vie nationale et prendront probablement d'importantes décisions dans les prochains mois. Il serait regrettable que l'attention apportée aux problèmes de la production, du contrôle et de l'utilisation de l'énergie atomique fasse oublier la nécessité pressante de reconsidérer dans son ensemble la question de l'avenir de la science, et de conduire cette enquête sans souci des préjugés ou des expédients des politiciens: ce lieu commun « la science n'a pas de frontières » a aujourd'hui une signification précise et menaçante.

Beaucoup des discussions récentes sur le rôle social de la science ont porté sur un sujet moins vaste; elles ont considéré le rôle social de la science appliquée; ceci n'est qu'un des aspects du problème. Nous publions dans ce numéro un article de E. F. Caldin qui traite la question dans son ensemble avec profondeur et objectivité. Caldin fait notamment la distinction entre la recherche scientifique fondamentale, la recherche en science appliquée, et la technologie. Hors des cercles scientifiques, on ne comprend généralement pas que les progrès du temps de guerre ont été réalisés dans le domaine des applications et que nous avons vécu sur notre capital de connaissances fondamentales. Relativement peu de progrès ont été faits en science pure pendant les années de guerre. Pour assurer un développement toujours aussi rapide des applications, un retour au programme de recherches fondamentales est indispensable, programme que les laboratoires des universités sont particulièrement bien placés pour réaliser, mais auquel certaines de nos grandes sociétés industrielles ont l'esprit de prendre une part active et fructueuse.

C'est parce que l'on ne reconnaît pas l'importance vitale de la recherche fondamentale, c'est-à-dire de l'étude des phénomènes naturels sans considération de leurs fins utilitaires, que de plusieurs côtés se sont élevé de bruyantes revendications pour un contrôle gouvernemental de la recherche scientifique. Ce contrôle serait dans une large mesure un non-sens; qui peut en effet nous piloter sur des routes inconnues vers un but inconnu? On peut diriger la science appliquée et la technologie, pour lesquelles le problème est d'appliquer des connaissances déjà acquises à des besoins déterminés. Les laboratoires industriels surtout entreprennent ce genre de recherches dont, en fin de compte, la loi de l'offre et de la demande détermine l'orientation. Ces développements ont leur base dans l'accumulation de connaissances théoriques non utilisées que seule peut fournir la recherche fondamentale, dont c'est l'une des fonctions. Les partisans du contrôle citent souvent la bombe atomique comme une preuve éclatante des progrès scientifiques possibles sous une direction unique; mais tous les principes sur lesquels est basée la bombe atomique avaient été découverts avant la guerre par des savants travaillant individuellement ou en petites équipes, et dont le seul but était d'explorer l'inconnu.

La nécessité de continuer et d'encourager la recherche fondamentale libre soulève l'important problème connexe de la situation financière des scientifiques. Toutes les industries sont en quelque mesure tributaires de la recherche scientifique, certaines en dépendent complètement. Les industries de l'électricité, du pétrole, du charbon, de l'acier, les industries chimiques et textiles ne

doivent-elles pas autant aux chercheurs universitaires qu'à ceux qui étudient les applications des recherches de science pure dans leurs laboratoires particuliers? Et pourtant l'universitaire reçoit en moyenne un traitement bien inférieur à celui d'un chercheur industriel de valeur comparable. Bien plus, ce chercheur industriel sera généralement plus mal rémunéré que ses collègues des départements administratifs aussi longtemps qu'il reste spécialisé dans la recherche. Passer de la recherche pure à la recherche appliquée et de là à l'administration présente donc partout un attrait financier. Dans l'intérêt de la science, de l'industrie et de la société en général, il faut arrêter ou réduire cette continuelle migration des hommes de valeur, non par contrainte légale, mais en récompensant financièrement de façon adéquate les chercheurs de science pure et appliquée. En grande majorité les hommes de science ne s'intéressent qu'à leurs travaux et l'argent leur est relativement indifférent; mais, pour produire leurs meilleurs résultats, ils doivent être libérés des soucis pécuniaires et pouvoir vivre au niveau de leurs pairs; cette idéal n'est atteint nulle part. Mais méfions nous des propositions d'améliorations qui peuvent dissimuler des tentations de contrôle. Dans le domaine de la recherche pure, il est essentiel que le savant soit entièrement libre de suivre son inspiration: si les grands savants du passé — tels que Newton, Galilée, Pasteur ou Rutherford — avaient dû suivre des directives ils auraient certes produit des résultats importants, mais notre monde serait certainement plus pauvre de quelques découvertes d'importance fondamentale.

Pour que le grand public réalise l'importance du savant dans le monde, il faut, comme on l'a déjà indiqué, lui expliquer la nature et le sens profond de la science. Il est opportun d'insister sur ce point au moment où tant de savants cessent leurs recherches du temps de guerre pour reprendre leurs activités normales. Interpréter et expliquer la science est pour les savants un devoir, auquel malheureusement peu s'intéressent et où moins encore se révèlent compétents. Et cependant, au moment où l'énergie atomique nous fait entrer dans une ère nouvelle pleine d'incertitude, les savants devraient tenir cette explication de la science au public pour un devoir aussi important que le développement même de la science. Cette éducation est nécessaire même au point de vue plus étroit de l'avenir de la recherche: n'est-ce-pas en effet le public entier qui défraye la recherche scientifique? Tant pour conserver les mêmes ressources que pour obtenir à l'avenir une augmentation substantielle, il semble juste que les premiers intéressés — les savants eux-mêmes — s'efforcent dans la mesure du possible de faire comprendre à leurs concitoyens l'esprit et les résultats de la science. Cet effort est nécessaire pour obtenir l'augmentation des ressources dont la recherche fondamentale ne peut se passer. En science appliquée, les résultats — radiophonie, téléphone, moteurs à combustion interne, aviation, etc., parlent pour eux-mêmes. Le rôle essentiel de la science pure est une notion plus subtile, et un effort spécial est nécessaire pour en faire comprendre à tous l'importance. Pour toucher chaque section de la communauté les organes de diffusion ne manquent pas et la co-opération entre les savants et ceux qui les contrôlent devrait donner de bons résultats pour l'intérêt général et l'avancement de la science. Un comité central de diffusion et un bureau d'information scientifique: voilà le type d'intervention gouvernementale sur lequel tous les savants sont d'accord; mais, le ciel aidant surtout ceux qui s'aident, il faut espérer que les savants, surtout les jeunes, se consacreront avec énergie à la tâche de faire comprendre la science à leurs concitoyens.

Rédacteur en chef: E. J. HOLMYARD, M.A., M.Sc., D.Litt., F.R.I.C.
Rédacteur adjoint: TREVOR I. WILLIAMS, B.A., B.Sc., D.Phil.

Imperial Chemical Industries, Nobel House, Buckingham Gate, London, S.W.1.

L'histoire géologique de la Grande-Bretagne

O. M. B. BULMAN

Malgré son peu d'étendue, la Grande-Bretagne est exceptionnelle par la richesse de ses formations géologiques. Il n'est donc pas étonnant que ce soit dans ce pays que la géologie ait pris naissance. Le Dr Bulman illustre par sa claire interprétation de la carte géologique de Grande-Bretagne la vérité du principe géologique, énoncé par James Hutton en 1788, selon lequel « on peut considérer la terre comme un organisme . . . dans lequel la désintégration nécessaire est constamment compensée par l'action des forces créatrices qui l'ont formé ».

La durée des périodes géologiques est extrêmement longue, même par comparaison avec des processus aussi lents que l'action des intempéries; collines et vallées ne représentent pour une telle échelle de temps qu'une étape dans le processus d'aplanissement d'un continent. Le sol ne peut rester longtemps au-dessus du niveau de la mer, et les bassins les moins profonds finiraient par être comblés par les sédiments si le relief n'était renouvelé d'une façon ou d'une autre. La présence dans les chaînes montagneuses élevées de roches sédimentaires renfermant de nombreux fossiles marins implique de telles modifications du niveau de la mer, que l'on ne peut expliquer rationnellement ce phénomène que par le soulèvement du sol.

Au point de vue géologique, la Grande-Bretagne a eu la chance de se trouver pendant une grande partie des périodes géologiques en bordure d'un continent instable. Dans l'ensemble l'affaissement a été plus important que le soulèvement, le dépôt de sédiments a été plus grand que l'érosion et il en a résulté une succession presque complète de roches. En fait, les vestiges géologiques de près de 500 millions d'années écoulées depuis que la vie a commencé sur cette planète constituent un ensemble si varié et si complet, pour un pays aussi peu étendu que la Grande-Bretagne, qu'il est probablement unique. Il n'est donc pas étonnant que les fondations de l'étude historique de la géologie aient été posées dans ce pays. Les géologues ont divisé les roches stratifiées du monde entier en quatorze systèmes, dont tous sauf un sont représentés dans les Iles Britanniques.

LA CARTE GÉOLOGIQUE DE LA GRANDE-BRETAGNE

Bien qu'elle soit maintenant située au delà de la bordure nord-ouest du continent européen, la Grande-Bretagne est inclinée vers le sud-est, et pendant la plus grande partie de son histoire géologique elle se trouvait au sud-est d'un vaste continent. L'érosion de ce continent maintenant disparu a fourni la plupart des détritus qui ont donné nos roches sédimentaires. Par suite de la persistence de cette inclinaison, les roches les plus anciennes sont actuellement exposées à la surface dans le nord et le nord-ouest de la Grande-Bretagne, et en se dirigeant vers le sud-est, on passe par-dessus les bords de strates de plus en plus récentes biseautées par l'érosion.

On trouve, affleurant à la surface, dans le nord de l'Ecosse et de l'Irlande, et apparaissant ici et là à travers les roches plus récentes dans le Pays de Galles, au centre de l'Angleterre, et en Cornouailles, les vieilles roches sédimentaires cristallines de l'époque pré-cambrienne, antérieure à l'apparition de la vie la plus ancienne dont les fossiles nous fournissent des preuves indiscutables. Ces roches constituent une succession complexe représentant un intervalle de temps estimé à plus de 1.000 millions d'années, et pourtant elles ne comportent rien qui puisse être considéré comme la croûte originale de la terre en cours de solidification.

Par-dessus cette formation compacte se trouvent les roches paléozoïques[1] (ou primaires), affleurant dans presque toute la région comprise entre les roches pré-cambriennes d'Ecosse et d'Irlande et une ligne allant de l'embouchure de la Tees à Start Point, dans le comté de Devon. Ces roches sont divisées en six systèmes géologiques, trois appartenant au Paléozoïque inférieur et trois au Paléozoïque supérieur, représentant ensemble 300 millions d'années. L'étage supérieur et l'étage inférieur sont séparés par une discordance indiquant une période de violentes convulsions

[1] Grec *palaeos*=ancien, *zoe*=vie.

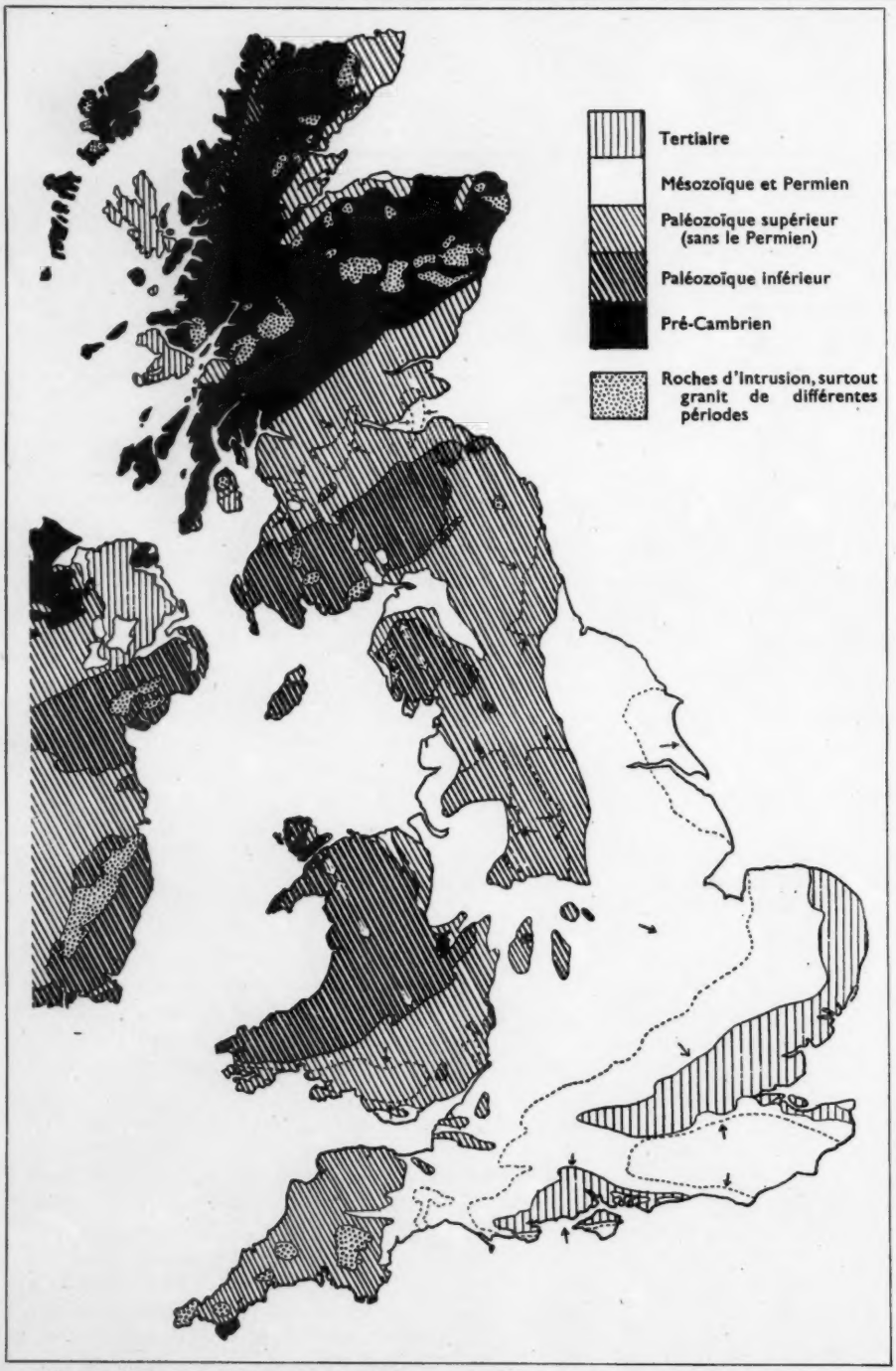


FIGURE 1 – *Carte géologique simplifiée de la Grande-Bretagne, indiquant les roches qui seraient visibles à la surface si l'on enlevait le sol et les dépôts quaternaires (Période glaciaire). On classe souvent le système paléozoïque le plus élevé, le Permien, avec le système triasique qui le recouvre sous le nom de Nouveau grès rouge (New Red Sandstone), et l'on a englobé sur cette carte les affleurements du Permien et le Trias dans le Mésozoïque. Les flèches indiquent approximativement l'inclinaison des strates.*

terrestres; les roches du Paléozoïque inférieur ont été très déformées et usées avant d'être enfouies sous des couches paléozoïques plus récentes. Vers la fin du Paléozoïque supérieur, entre les systèmes Carbonifère et Permien, un autre épisode analogue eut lieu, moins violent mais également suivi par une érosion étendue. Pour simplifier, on a représenté sur la carte ci-contre et dans l'exposé qui suit, le système Permien en même temps que l'étage mésozoïque[2] qui le recouvre, de sorte que l'horizon de cette seconde discordance importante coïncide avec la limite Paléozoïque/Mésozoïque.

C'est sur ces deux grandes couches superposées de strates paléozoïques plissées et érodées que reposent les roches mésozoïques (ou secondaires), qui représentent ensemble une période d'environ 120 millions d'années. Elles forment une couche plus superficielle, inclinée doucement vers l'est et le sud-est. La régularité de leur inclinaison régionale est interrompue par deux dépressions, les bassins de Londres et du Hampshire, dans lesquels les vestiges de roches les plus récentes, ou tertiaires (déposées au cours des 50 ou 60 derniers millions d'années), ont résisté jusqu'ici à l'érosion de la phase terrestre actuelle. Ces deux bassins peu profonds, séparés par l'anticlinal du Weald, doivent leur formation à cette période de bouleversement du milieu de l'époque tertiaire qui a donné sur le continent européen les Alpes et les arcs montagneux des régions situées au nord de la Méditerranée.

On rencontre d'innombrables discordances moins importantes dans la succession rocheuse. Quelques-unes ont été produites par des soulèvements passagers, et d'autres sont dues simplement à l'envasement du fond de la mer (figure 3).

FIGURE 2 – *Clef des noms employés dans le texte.*

LES ROCHES QUATERNAIRES

Pléistocène

En enlevant la couche superficielle appelée de façon peu précise, le « sol », nous trouverions encore une couche étendue constituée par de l'argile à blocaux, des sables mouvants et des graviers, qui doivent leur origine directement ou indirectement à la fonte des couches de glace qui couvraient une superficie importante de la Grande-Bretagne pendant la grande période de glaciaire. Ces dépôts sont si étendus et superficiels qu'on ne les indique pas sur les cartes « solides ».

LES ROCHES TERTIAIRES

Pliocène (*au-dessus*)
Miocène (*absent en Grande-Bretagne*)
Oligocène
Eocène (*au-dessous*)

On ne trouve pratiquement les sédiments de l'âge tertiaire que dans les bassins de Londres et du Hampshire, dans le sud-est de l'Angleterre (figure 1). Ce sont des fragments de ce qui constituait une couche continue, ils ont été séparés les uns des autres par suite de l'érosion de la crête de l'anticlinal complémentaire du Weald. Ces sédiments sont du type esturial, avec des lits de courants d'eau douce apparaissant vers l'ouest, et doivent avoir été déposés dans une mer peu profonde qui ne s'est probablement jamais étendue au delà de leurs limites actuelles à l'ouest et au nord-ouest. Il est probable que la portion nord-ouest de la Grande-Bretagne consistait surtout en terre ferme, et dans cette direction on ne trouve pas de roches tertiaires jusqu'au moment où l'on atteint le nord de l'Irlande et les îles de la côte

[2] Grec *mesos* = moyen, *zoe* = vie.

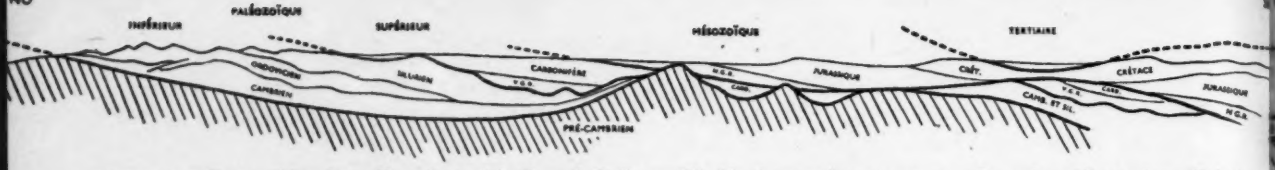


FIGURE 3 – *Coupe schématique allant du nord du Pays de Galles au Weald, résumant les rapports entre les roches sédimentaires. Echelle verticale (et par conséquent dénivellation et épaisseur) fortement exagérée, particulièrement pour le sud-est.*

ouest de l'Ecosse, et elles sont remarquablement différentes. On y rencontre surtout d'importants vestiges de coulées de lave de l'époque tertiaire, qui ont recouvert des terrains constitués par des roches pré-cambriennes, paléozoïques, et mésozoïques, avec quelques bandes de boues ou des terrains fossilifères contenant des débris végétaux qui ont permis d'établir qu'elles appartiennent au début de la période tertiaire.

Les roches tertiaires du sud-est de l'Angleterre reposent presque partout, avec quelques discordances, sur une surface érodée de craie de formation mésozoïque, indiquant que, là aussi, comme dans le reste de l'Europe, l'ère mésozoïque a été séparée de l'ère tertiaire par une courte période terrestre. On peut voir la zone de contact à la limite des bassins actuels, et on la retrouve dans tous les puits percés à travers ces formations. Si l'on enlevait toutes les roches tertiaires, toute cette région se trouverait recouverte de craie comme le montre la figure 5(*a*).

LES ROCHES MÉSOZOÏQUES

Crétacé (*au-dessus*)
Jurassique
Triasique (Permien) | New Red Sandstone (Nouveau grès rouge) (*au-dessous*)

On pourrait croire que si l'on continuait à enlever une à une les couches superposées du Mésozoïque on trouverait des surfaces successives également continues couvrant le sud-est de l'Angleterre. Mais au contraire, des forages profonds à travers les roches tertiaires et crétacées supérieures du bassin londonien arrivent non pas à des roches du Crétacé inférieur ni même du Mésozoïque, mais directement aux couches du Paléozoïque; et si, pour la couche suivante, nous enlevions toutes les roches du Crétacé supérieur nous rencontrerions la répartition inattendue donnée de façon approchée sur la figure 5(*b*). On trouve donc un plateau fossile dont on ne soupçonnait pas l'existence d'après les seules indications des couches superficielles, et au-dessus duquel on ne rencontre que des roches du Mésozoïques supérieur, tandis que sur ses pentes les roches mésozoïques plus anciennes diminuent d'épaisseur et disparaissent. La variation d'épaisseur des différentes formations, déterminée par des sondages, nous permet de construire la coupe représentée figure 4(*a*), et d'après celle-ci, il est évident, si l'on redresse le plissement tertiaire comme sur la figure 4(*b*), que cette plateforme paléozoïque sous-jacente du sud-est de l'Angleterre a dû exister pendant la plus grande partie de la période mésozoïque. Si on l'étudie d'une autre façon, la limite indiquée sur la figure 5(*b*) est proche de la bordure côtière orientale des mers du Jurassique et du Crétacé inférieur. C'est une indication de l'irrégularité de la surface sur laquelle les roches mésozoïques ont été déposées. Cette irrégularité a été probablement accentuée par de nouvelles convulsions et des soulèvements périodiques au cours de la période mésozoïque.

La base des couches mésozoïques est formée par des marnes rougeâtres, des grès, et des lits de cailloux du système Triasique qui, ainsi que le système Permien sous-jacent, sont groupés ensemble sous le nom de New Red Sandstone (Nouveau grès rouge). Ces dépôts se sont accumulés dans les régions basses existant entre les massifs montagneux du nord et de l'ouest et la plateforme paléozoïque de l'est maintenant enterrée.

LES ROCHES DU PALÉOZOÏQUE SUPÉRIEUR

Carbonifère (*au-dessus*)
Dévonien (Old Red Sandstone, Vieux grès rouge) (*au-dessous*)

La discordance entre le Nouveau grès rouge du nord de l'Angleterre et les roches carbonifères plissées sous-jacentes est peut-être la plus remarquable de Grande-Bretagne. C'est aussi la plus complètement explorée, par suite du développement économique important des gisements houillers.

Les roches carbonifères occupent presque toute la région hâchurée du Paléozoïque supérieur sur les figures 1 et 13. Elles sont quelquefois séparées des roches plus anciennes affleurantes par une bande de Vieux grès rouge, mais elles débordent souvent celui-ci et reposent directement sur des îlots et des massifs de roches plus anciennes (Paléozoïque inférieur, comme sur la figure 8, ou

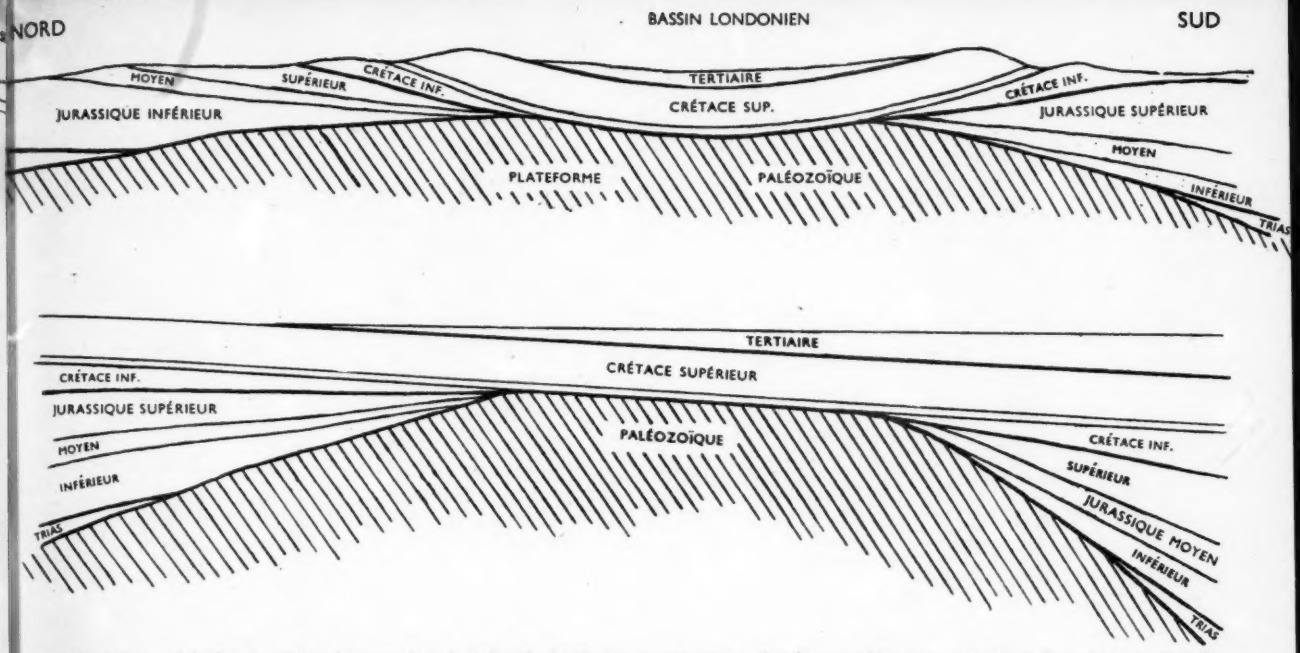


FIGURE 4 – (*a*) *Coupe schématique nord–sud du bassin londonien, montrant la plateforme paléozoïque enterrée et les relations entre les différentes divisions du Mésozoïque.*
(*b*) *La même si l'on efface le plissement tertiaire. Ceci fait ressortir plus clairement le fait que la plateforme paléozoïque constituait une zone de terre ferme sur les bords de laquelle se sont déposées des roches du Mésozoïque inférieur. Sur ces deux coupes on a fortement exagéré l'inclinaison des strates.*

pré-Cambrien). Si l'on enlevait les strates mésozoïques, la région occupée sur la carte par des roches du Paléozoïque supérieur, et notamment des roches carbonifères, serait considérablement plus étendue; et d'ailleurs les gisements houillers du Carbonifère supérieur sont exploités au-dessous d'un revêtement mésozoïque dans presque toute la région des Midlands et les régions houillères à l'est de la chaîne Pennine. Mais là encore, une partie seulement de la surface ainsi exposée serait formée de roches du Carbonifère supérieur, en partie parce que ces roches n'ont jamais existé dans certaines régions, et surtout parce que dans d'autres l'érosion les a fait disparaître de la crête des plissements avant que les roches mésozoïques aient commencé à se déposer. Trois synclinaux importants ont protégé les gisements houillers contre l'érosion à la fin de la période Carbonifère dans les régions houillères du comté de Durham, du Yorkshire–Nottinghamshire, et du Lancashire qui sont actuellement en partie découvertes et en partie enterrées. Les roches carbonifères manquent dans presque toute la portion sud des Midlands et dans l'est de l'Angleterre, mais réapparaissent sous les couches mésozoïques de la partie est du Kent et dans les régions houillères partiellement à découvert de la région de Bristol. Il est difficile de deviner avec certitude la nature de la base du Mésozoïque par suite du petit nombre de sondages profonds en dehors des régions houillères en exploitation, mais la figure 13 représente quelques-uns des îlots connus de roches anciennes ainsi que le contour approximatif des bassins houillers connus.

A la base du carbonifère, le Vieux grès rouge constitue des poches importantes sur la surface irrégulière due au puissant soulèvement montagneux du Calédonien, à la fin de l'ère précédant le Paléozoïque inférieur.

LES ROCHES DU PALÉOZOÏQUE INFÉRIEUR

Silurien (*au-dessus*)
Ordovicien
Cambrien (*au-dessous*)

Si l'on enlevait les strates du Paléozoïque supérieur, on trouverait une zone complexe de roches du Paléozoïque inférieur, plissées et faillées, s'étendant obliquement en travers de la Grande-Bretagne, avec une zone de pré-Cambrien séparant la principale traînée de Paléozoïque inférieur d'Angleterre, du Pays de Galles et du sud de l'Ecosse, de celle des Highlands du nord-ouest. Mais nous ne savons pas encore quelle proportion de pré-Cambrien se trouve sous le Paléozoïque supérieur des Midlands et de l'est de l'Angleterre. Nous connaissons l'existence de pics

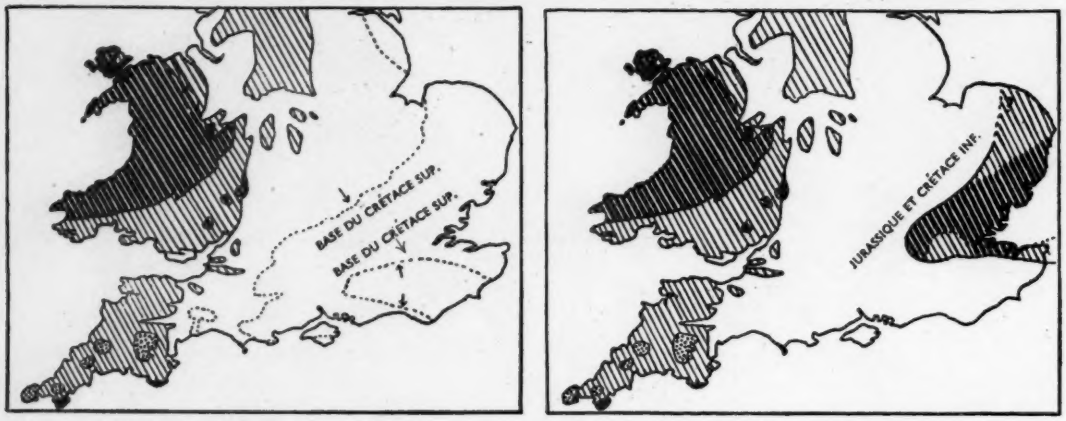


FIGURE 5 – (*a*) *Portion sud de la carte donnée figure* 1 *telle qu'elle serait si l'on enlevait les couches tertiaires. Les affleurements actuels du mur du Crétacé supérieur sont indiqués par les lignes pointillées dans le Mésozoïque.*
(*b*) *La même après que l'on a enlevé les roches du Crétacé supérieur montrant la plateforme paléozoïque enterrée du sud-est de l'Angleterre. Les roches du Paléozoïque supérieur au-dessous de Londres appartiennent à la période du Vieux grès rouge; mais dans l'est du Kent les gisements houillers sont dissimulés. Les hâchures sont les mêmes que sur la figure* 1.

de pré-Cambrien perçant par endroits le revêtement de Paléozoïque supérieur et apparaissant au fond du Mésozoïque; on en trouverait sûrement un plus grand nombre sur le sol du Paléozoïque supérieur (après avoir enlevé celui-ci) et l'on y trouverait probablement aussi des étendues relativement importantes de pré-Cambrien. D'après les caractères des sédiments du Paléozoïque inférieur on a des raisons de penser que de telles formations ont dû exister dans la mer d'Irlande au large de la côte nord du Pays de Galles et dans le Lancashire; et peut-être aussi dans les fondations de la chaîne Pennine. Elles peuvent avoir été recouvertes d'une mince couche de roches du Silurien supérieur. Quelques sondages profonds à l'est de l'Angleterre ont atteint les roches pré-cambriennes dans des régions dans lesquelles le Paléozoïque supérieur est mince ou inexistant (page 51).

L'HISTOIRE GÉOLOGIQUE DE LA GRANDE-BRETAGNE

Il a dû se produire à la fin de l'ère pré-cambrienne un important retrait de la mer et une érosion considérable, et l'ère paléozoïque a commencé avec une régression marine très marquée. Les roches des Grampians et de Ross et Cromarty étaient probablement, comme maintenant, de la terre ferme et formaient la limite nord d'un isthme étroit ou d'une péninsule allongée séparant la principale vallée de sédimentation du Pays de Galles d'une mer située au nord et dans laquelle se sont déposées les roches calcaires du Cambrien et de l'Ordovicien du nord-ouest des Highlands qui présentent des affinitées américaines marquées. A l'époque cambrienne, le bord sud de cette barrière de terres se trouvait peut-être dans la région du comté d'Anglesey et se dirigeait à peu près vers le nord-est tandis que la mer parsemée d'îles s'étendait vers l'est dans la direction de la Baltique. Les roches pré-cambriennes du Shropshire, des Malverns, des collines de Lickey, de Charnwood, et peut-être aussi celles des régions voisines de Northampton, de Bletchley et de la côte du Norfolk, où des sondages profonds ont révélé l'existence de roches pré-cambriennes immédiatement au-dessous du Mésozoïque, doivent toutes avoir été des îles émergeant à la surface de la mer cambrienne. Elles forment une large bande orientée est–ouest, mais sont probablement les sommets d'un système complexe de crêtes orientées plutôt nord–sud ou nord-ouest–sud-est.

Pendant la période ordovicienne qui suivit, le bord de la principale vallée galloise se déplaça vers le nord-ouest, submergeant la Région des Lacs et les hautes terres du sud de l'Ecosse. Nous avons des indications d'une rive à peu près parallèle vers le sud-est. C'est la bordure d'un continent situé au sud et occupant l'est de l'Angleterre et les Midlands, régions sur lesquelles il n'y a jamais eu de dépôts ordoviciens. Il n'existe dans le nord-ouest des Highlands aucune

FIGURE 6 – *Vue du Loch Glencoul, dans le nord-ouest des Highlands d'Ecosse. Le gneiss cristallin pré-cambrien (P.C.) dans la moitié supérieure de la photographie, à droite, a été charrié presque horizontalement par-dessus des ardoises et des quartzites cambriens doucement inclinées (Ca), qui reposent sur le pré-Cambrien (P.C.) constituant le promontoire visible à gauche. Au-dessous du chevauchement de droite se trouve une zone de roches faillées formant une plateforme sous la masse chevauchante.*

(*Photographie du Service Géologique (Copyright du gouvernement) sur laquelle ont été tracées des lignes indiquant approximativement l'emplacement du plan de chevauchement et de l'inconformité.*)

FIGURE 7 – *Ile de Staffa, au large de Mull, vestige érodé du plateau volcanique de l'ouest de l'Ecosse. Les coulées de lave basaltique présentent des cassures de retrait produites au cours du refroidissement, et la coulée inférieure de cette figure présente un assemblage très régulier de prismes ou de colonnes. D'après un diorama du Musée de Géologie de Londres.*

(*Photographie du Service Géologique (Copyright du gouvernement).*)

FIGURE 8 – *Montagnes d'Eglwyseg, au nord de Llangollen. Le calcaire carbonifère formant l'escarpement abrupt repose par discordance sur les ardoises du Paléozoïque inférieur et les dalles de la période du Silurien supérieur. Le contact est dissimulé sous les éboulis, mais les dalles siluriennes couvrent le premier plan et constituent le sol de presque toute la région boisée et de pâturages de plaine. Le Vieux grès rouge qui devrait séparer ces deux systèmes est absent.*

(*Photographie du Service Géologique (Copyright du gouvernement); les inscriptions ont été ajoutées.*)

FIGURE 9 – *Snowdon vu de l'est, avec Llyn Llydaw au premier plan. La montagne a été formée par érosion d'un synclinal de roches volcaniques ordoviciennes, dans lesquelles les couches les plus élevées de cendres fossilifères se rencontrent près du sommet. Des moraines et des apports glaciaires couvrent le premier et le second plan.*

(*Photographie du Service Géologique (Copyright du gouvernement).*)

FIGURE 10 – *Paysage Wealdien: reconstitution du rivage du Lac Wealdien, avec les reptiles Iguanodon (premier plan), Brontosaure (sortant de l'eau à l'arrière plan) et un Ptérodactyle planant au-dessus. Parmi les plantes représentées se trouvent des conifères, des cycadacées et des fougères.*

(*D'après un diorama du Musée de Géologie. Photographie du Service Géologique (Copyright du gouvernement).*)

FIGURE 11 – *Reconstitution d'un paysage de forêt caractéristique des gisements houillers, d'après un diorama du Musée de Géologie, à Londres.*

(*Photographie du Service Géologique (Copyright du Gouvernement).*)

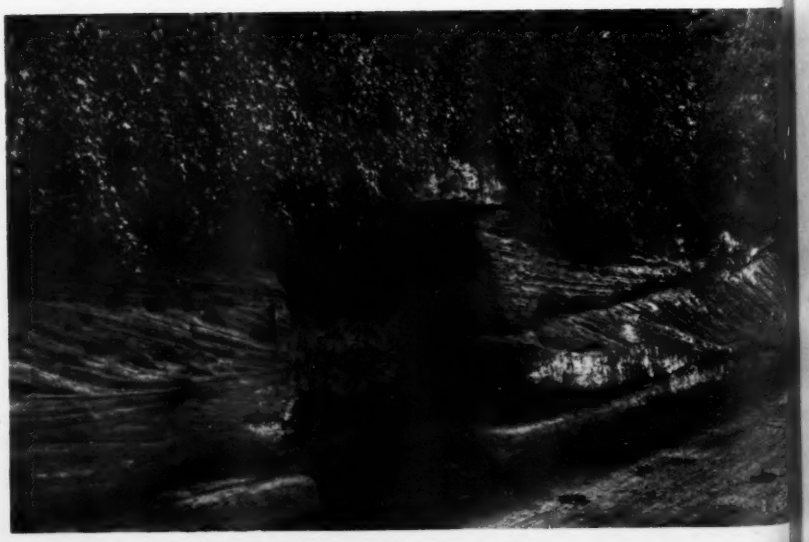


FIGURE 12 – *Section de route montrant les dunes stratifiées du Trias (Nouveau grès rouge) à Brimstree Hill, Salop.*

(*Photographie du Service Géologique (Copyright du gouvernement).*)

trace de sédiments plus récents que ceux de l'Ordovicien inférieur, ni d'autre trace de cette mer nordique; mais la faune fossile de la région sud des hautes terres fait quelques fois penser à des affinités américaines dans l'Ordovicien plus récent. La période ordovicienne est remarquable par son activité volcanique; des volcans sous-marins au nord du Pays de Galles et dans la Région des Lacs ont projeté de grandes épaisseurs de laves et de cendres volcaniques (figure 9).

Pendant la période silurienne, tandis que son rivage nord restait à peu près inchangé dans sa traversée du centre de l'Ecosse, la mer s'étendit de nouveau vers le sud-est, submergeant d'abord la zone côtière du continent situé à l'est, puis la totalité de l'est de l'Angleterre, comme à la période cambrienne. Les sédiments siluriens les plus récents sont des sédiments d'eau peu profonde, avec occasionnellement des indications de dépôts d'eau saumâtre. C'était la fin de l'importante phase marine du Paléozoïque inférieur.

FIGURE 13 – *Carte géologique de la Grande-Bretagne telle qu'elle serait sans le revêtement de roches tertiaires et mésozoïques. L'absence de roches paléozoïques sur presque toute la région sud-est est due au soulèvement et à l'érosion du post-Carbonifère; mais dans certaines régions il n'y a jamais eu de dépôt de roches du Carbonifère supérieur, et l'on a représenté des protubérances de roches du pré-Cambrien et du Paléozoïque inférieur formant une zone d'îles s'étendant vers l'est à travers les Midlands et qui font saillie à travers le Paléozoïque supérieur.*

Au cours de cette phase, les sédiments déposés dans la partie la plus profonde de la vallée avaient atteint une épaisseur globale évaluée à environ 15 km de telle sorte que, le fond continuant à s'enfoncer et de nouveaux sédiments à s'accumuler, les dépôts les plus anciens furent enterrés à une profondeur très considérable et doivent avoir été soumis à des températures très élevées. Bien qu'il ne se soit pas produit de véritable métamorphisme (recristallisation), la compression résultant de la pression a transformé en certains endroits le schiste cambrien en ardoises parfaites (comme dans la zone ardoisière du nord du Pays de Galles) et même les cendres volcaniques ordoviciennes du Pays de Galles et de la Région des Lacs présentent un clivage grossier en travers de leurs plans originaux de stratification. La déformation la plus spectaculaire attribuée à ces mouvements calédoniens se rencontre dans les roches cambriennes et pré-cambriennes du nord-ouest de l'Ecosse, et les roches pré-cambriennes des Grampians, bien que pour celles-ci la déformation puisse dater de l'époque pré-cambrienne. Dans le nord-ouest de l'Ecosse, des roches cristallines pré-cambriennes ont été transportées de plusieurs kilomètres en avant le long des plans de fracture presque horizontaux, et reposent sur des sédiments cambriens, eux-mêmes reposant intacts sur le bloc stationnaire pré-cambrien du nord-ouest (figure 6). Dans les Grampians, les roches pré-cambriennes ont formé d'énormes plis horizontaux avant de céder finalement au charriage. Plus au sud, les schistes mous du Paléozoïque inférieur des hautes terres du sud ont subi un plissement fortement incliné, tandis que dans la Région des Lacs et dans le nord du Pays de Galles on rencontre des plissements simples de grande envergure associés à des chevauchements. Snowdon (figure 9) est un vestige érodé d'un énorme bassin ou synclinal, trompeusement simple d'aspect, constitué par des roches volcaniques ordoviciennes situées entre les roches cambriennes et pré-cambriennes de la région de Ménaï et le grand dome de Harlech (Cambrien). Le paysage accidenté de la Région des Lacs a été sculpté dans un anticlinal de

schistes et roches volcaniques ordoviciennes.

Une nouvelle étendue de terre surélevée, diversifiée par ce qui a dû être une chaîne montagneuse élevée dans le Pays de Galles, la Région des Lacs et l'Ecosse, occupait alors toute la Grande-Bretagne au nord d'une ligne côtière orientée presque est–ouest et traversant la région du détroit de Bristol. Les mouvements calédoniens avaient soudé la Grande-Bretagne à un vaste continent qui était peut-être assez étendu pour englober la Scandinavie, le Spitzberg et le Groënland.

Entre les principales chaînes de montagne, d'énormes sédiments entraînés par les eaux (Vieux grès rouge) se sont accumulés dans un climat semi-aride avec des pluies saisonnières torrentielles. On ne rencontre guère de véritables dépôts lacustres dans le Vieux grès rouge inférieur ou supérieur, mais dans les îles Shetland et Orcades, et sur la terre ferme avoisinante, il existe d'importants dépôts sédimentaires appartenant à la période moyenne du Vieux grès rouge; on a donné à cette région le nom de Lac Orcadie. Dans l'ensemble, mais pas en un seul endroit, la succession des sédiments de Vieux grès rouge atteignent une épaisseur d'au moins 6 km. Les réajustements de ce genre ont continué pendant une grande partie de la période du Vieux grès rouge; des coulées de lave caractérisent le Dévonien inférieur du sud et du centre de l'Ecosse, et beaucoup des intrusions granitiques dans le nord datent de cette période. Dans le sud se trouve la mer dans laquelle ont été déposées les roches marines contemporaines du Devonshire et de Cornouailles, et, plus à l'est, des régions des Ardennes et du Rhin.

Cette étendue de terrain, avec ses importantes poches de Vieux grès rouge, n'avait pas été complètement nivelée par l'érosion avant le moment où sa submersion permit à la mer de pénétrer vers le nord. L'Angleterre entra alors dans sa seconde phase marine (figure 8).

Le Carbonifère est un vaste système, représentant un intervalle de quelque 80 millions d'années — à peu près 1½ fois la durée totale de la période tertiaire et peut-être les deux tiers du Mésozoïque. Les conditions de formation des dépôts de sédiments et des bordures côtières ont varié si considérablement pendant cette période qu'il n'est pas possible de la considérer en un seul bloc. Vers la fin de la période du Carbonifère inférieur la plus grande partie de l'Angleterre était submergée; mais une grande partie du Pays de Galles formait une île assez importante atteignant peut-être même la côte irlandaise, et un archipel de petites îles s'étendait vers l'est à travers les Midlands — un écho des îles existant dans les Midlands pendant le Paléozoïque inférieur. Dans le centre de l'Ecosse, les embouchures des grandes rivières drainant les terres situées plus au nord formaient des deltas, et des îles irrégulièrement dispersées se trouvaient au large, dans les hautes terres du sud, la Région des Lacs, et peut-être le nord-est de l'Irlande. Le grès meulier de surface est un dépôt deltaïque complexe de sables et de schistes, comportant parfois des schistes marins indice d'effondrements répétés. Ce grès meulier recouvrit presque tout le pays, puis céda la place aux forêts marécageuses de la série carbonifère (figure 11), descendant du nord et alternant au cours des périodes d'affaissement avec des grès, de la vase, des schistes d'eau douce, et parfois des schistes marins mais provenant d'estuaires. Finalement, au-dessus des strates carbonifères, des « gîtes rouges » improductifs indiquent l'apparition d'une période d'aridité. La phase marine du Carbonifère a duré relativement peu de temps, mais le régime deltaïque et marécageux du Carbonifère moyen et du Carbonifère supérieur ont accompagné un affaissement de longue durée, et les sédiments se sont accumulés sur une grande épaisseur. A la fin du Carbonifère, l'affaissement et la sédimentation faillirent submerger les sommets du système calédonien.

C'est alors que commença la seconde grande période de convulsions terrestres, qui se fit sentir plus encore dans le nord-ouest de l'Europe qu'en Grande-Bretagne. Ses effets les plus importants sont visibles dans le Devonshire et la Cornouailles où le schiste dévonien a subi des clivages ardoiseux; et les bassins houillers de Bristol et de la Galle du sud présentent une contorsion plus grande que ceux du nord. Le plissement des étages houillers et des roches sous-jacentes était conditionné, surtout dans la région des Midlands, par les travées submergées ou à demi-submergées de roches dures du pré-Cambrien et du Paléozoïque inférieur placées au-dessous. C'est aussi à cette période que l'on peut attribuer les failles de la vallée centrale de l'Ecosse qui ont enfoncé et protégé de l'érosion le Vieux grès rouge et les roches carbonifères de l'Ecosse industrielle.

La Grande-Bretagne fut de nouveau solidement incorporée dans le continent nordique, alors recouvert à l'est de la chaîne Pennine par le rivage d'une vaste mer intérieure en cours d'assèchement et dont le centre se trouvait au-dessus de

l'Allemagne. C'est là que se sont formés les dépôts de dolomite accompagnés de marnes, de sel gemme et de gypse. Cette série de strates repose sur une surface remarquablement plane recouvrant les gisements houillers de l'est de la chaîne Pennine. En d'autres endroits cette région présente un relief plus marqué. Les conditions climatériques dans les régions basses situées entre les masses en relief de l'ouest et du nord-ouest, et la plateforme paléozoïque de l'est, là où s'est accumulé le Nouveau grès rouge, étaient des conditions semi-arides et désertiques. Le sel gemme, le gypse, et la marne rouge indiquent l'assèchement de petites mers intérieures, et les strates de grès (figure 10) témoignent de l'action du vent aussi sûrement que les surfaces polies du pré-Cambrien qui font saillie à travers les marnes du Nouveau grès rouge dans la forêt de Charnwood.

Les dépôts marins du Jurassique dont nous avons déjà indiqué la limite orientale approximative (figure 5(*b*)) sont le résultat de la submersion de cette région. La côte ouest est plus difficile à situer, car c'est de ce côté que se trouvent les bords érodés des affleurements actuels; mais on a des raisons de croire que le Pays de Galles et l'ouest de l'Angleterre étaient surtout de la terre ferme. Cette mer ne s'étendait pas non plus très loin au nord, car dans cette direction les dépôts jurassiques ont un caractère deltaïque, fournissant un curieux parallèle aux conditions existant pendant la période du Carbonifère inférieur. Plus au nord un étroit débouché, quelquefois peut-être un estuaire, semble avoir suivi le contour de ce qui est maintenant la côte ouest de l'Ecosse, et des traces des sédiments déposés là s'y trouvent protégées sous la calotte de lave tertiaire.

La phase marine du Mésozoïque faillit être interrompue à la fin du Jurassique; un soulèvement provoqua le retrait de la mer et l'apparition d'une langue de terre à travers les Midlands, séparant une région marine au nord-est, d'un lac d'eau douce au sud-est et au sud. Presque tout le Lincolnshire devint ainsi de la terre ferme ou un marécage d'eau douce (figure 10). La transgression marine du Crétacé, après avoir franchi cette barrière terrestre, amena la mer jusqu'à Antrim et aux îles de la côte ouest. On n'est pas certain que le Pays de Galles et la Région des Lacs aient été submergés, même à cette époque; mais le continent paléozoïque du sud-est de l'Angleterre disparut sous les mers de craie et n'a jamais depuis reparu à la surface.

Le soulèvement qui s'ensuivit et qui est révélé par la légère discordance pré-tertiaire dura peu de temps dans le sud de l'Angleterre qui fut rapidement submergé à nouveau par les eaux peu profondes d'une mer orientale. Cette mer s'étendait à l'est et au sud-est et engloba dans la même étendue de dépôts de roches tertiaires le bassin parisien, la Belgique et la Hollande (bassin anglo-parisien). Au nord-ouest l'activité volcanique du début de l'ère tertiaire donna un grand plateau basaltique de 600 à 900 mètres de hauteur, dont on trouve aujourd'hui les vestiges en Irlande du nord et dans les îles de la côte ouest de l'Ecosse (figure 7).

Les convulsions terrestres de la période calédonienne se firent violemment sentir en Grande-Bretagne; le mouvement Permo-Carbonifère y fut moins intense; et le soulèvement du Tertiaire moyen et le soulèvement alpin qui n'eurent pratiquement d'action que dans le sud-est de l'Angleterre y furent moindres encore. Localement, le long du « Hog's Back », près de Guildford, et dans l'Ile de Wight et à Purbeck, les pentes sont verticales, mais dans presque toute cette région l'angle d'inclinaison est rarement supérieur à deux ou trois degrés. Les bassins de Londres et du Hampshire et l'anticlinal du Weald sont assez marqués mais peu profonds.

L'anticlinal du Weald s'éroda rapidement, en effet, les sables marins du Pliocène inférieur reposent directement sur la craie dans certains endroits des North et South Downs et des Chilterns. Au cours du soulèvement qui suivit, l'ensemble de la Grande-Bretagne devint terre ferme à l'exception des bordures est du Norfolk et du Suffolk, sur lesquelles se déposèrent les bancs de sable mêlés de coquillages marins du Pliocène supérieur.

Dès ce moment, à part les modifications relativement peu importantes de l'ère quaternaire, la topographie actuelle des affleurements était virtuellement déterminée. Les glaciers ont laissé en se déplaçant leurs modifications caractéristiques sur la topographie des hautes terres, et d'immenses couches de glace recouvrirent les régions des terres basses de toute l'Angleterre à l'exception du sud, en y laissant des dépôts d'argile à blocaux et de cailloux roulés. Le blocage des vallées du pré-Pléistocène par des glaces ou des galets a provoqué le détournement de certaines voies de drainage; et des changements de niveau de la mer dûs à l'accumulation puis à la fusion des glaces ont eu pour résultat des vallées noyées, des forêts submergées et des plages surélevées le long des côtes. Pour la Grande-Bretagne c'est la pénétration de la mer dans la région qui est aujourd'hui la Manche qui constitue le plus important de tous les évènements du Quaternaire.

La Société Royale d'Edimbourg

JAMES KENDALL

Le titre de Membre de la Société Royale d'Edimbourg a toujours été considéré comme un grand honneur académique. Parmi les nombreux hommes de science éminents qui en furent membres, on peut citer Joseph Black, Thomas Hope, James Hutton, Thomas Graham, Clerk Maxwell, Crum Brown, et Lord Kelvin. Le génie littéraire y fut représenté par Goethe et Sir Walter Scott (président de 1820 à 1832). Le professeur Kendall retrace ici l'histoire de cette société, qui n'a pas connu d'interruption depuis sa fondation en 1783.

La Société Royale d'Edimbourg, comme sa sœur aînée la Société Royale de Londres, n'est pas venue au monde d'un seul coup. Elle s'est dégagée petit à petit d'une série d'associations d'un caractère moins officiel nées au cours d'une période troublée.

La Société elle-même provenait de la fusion de deux institutions plus spécialisées, une Société de Médecine, fondée en 1731, et une Société pour l'avancement des Arts et des Sciences, née six ans après. L'anatomiste Alexander Monro aîné était secrétaire de la première; les six volumes de médecine, *Medical Essays and Observations*, publiés sous sa direction, contribuèrent largement à étendre la réputation de l'Ecole de Médecine d'Edimbourg en Europe. Le mathématicien Colin Maclaurin était la cheville ouvrière de la seconde société; mais ses efforts en vue de défendre Edimbourg contre l'armée jacobite en 1745 entraînèrent sa mort prématurée et l'interruption de toutes les activités de la société. Une fois le calme rétabli, les deux sociétés unies, avec David Hume et Alexander Monro cadet comme secrétaires, reprirent un travail sérieux. Trois volumes d'*Essays and Observations, Physical and Literary*, publiés de 1754 à 1771, apportent, sur des sujets d'une extrême variété, la contribution de maîtres dans presque tous les domaines de la science, de la philosophie et des lettres.

FIGURE 1 – *Sir William Wright Smith, Président régnant de la Société.*
(D'après la peinture par Stanley Cursiter.)

Mais une nouvelle crise survint en 1782. Lord Buchan ayant sollicité l'octroi d'une charte à la Société des Archéologues d'Edimbourg, l'Université s'y opposa, à l'instigation de son recteur William Robertson, qui était partisan d'une société savante dont l'objet fût plus complet. Toute vaine qu'elle fût, cette opposition fut la cause directe de la formation de la Société Royale d'Edimbourg. Andrew Dalziel, professeur de grec, dans une lettre à un ami le 30 novembre 1782, fait cette remarque:

> Lord Buchan fait un tapage bien regrettable autour de sa Société des Archéologues. Il y a admis tant de va-nu-pieds que les membres respectables démissionnent les uns après les autres et se joignent à l'Université et à la Faculté des Avocats pour demander qu'une nouvelle société soit reconnue par charte royale.

Lors d'une réunion des professeurs de l'université, dont un grand nombre appartenaient à la Société Philosophique, le projet de Robertson fut finalement adopté; en fait, ce plan réclamait « l'établissement d'une nouvelle société sur des bases plus larges, à l'exemple de certaines académies étrangères qui ont pour objet de cultiver toutes les branches des sciences, de l'érudition et du goût ». Le patronage du roi fut sollicité, et en

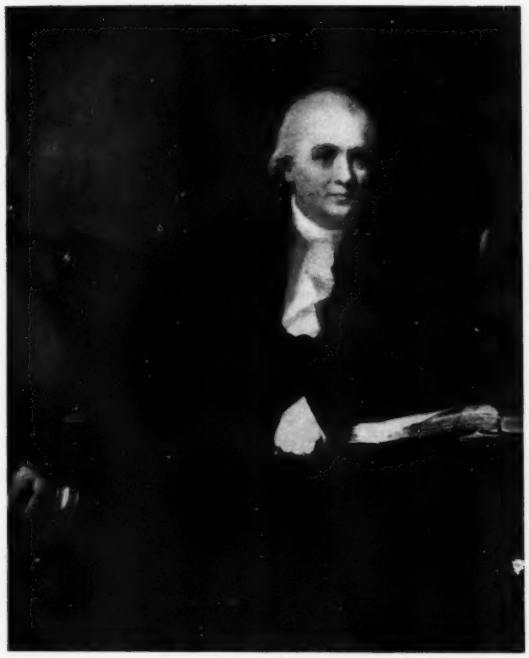


FIGURE 2 – *John Robison, Secrétaire général* 1783–98.
(D'après la peinture par Sir Henry Raeburn.)

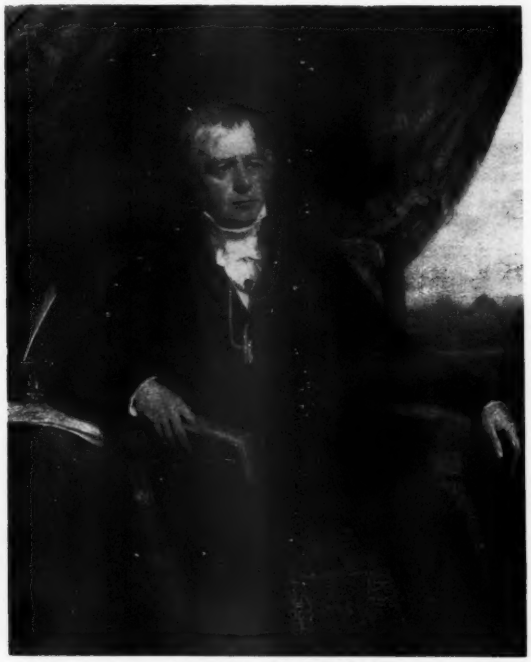


FIGURE 3 – *Sir Walter Scott, Président* 1820–32.
(D'après la peinture par J. Graham-Gilbert.)

mars 1783 Georges III accorda une charte constitutionnelle.

La première séance de la Société Royale d'Edimbourg se tint le 23 juin de la même année, dans la bibliothèque de l'université, sous la présidence du recteur Robertson. Il y fut décidé que tous les membres de la Société Philosophique porteraient le titre de Membre de la Société Royale. Le Duc de Buccleuch fut élu président, et John Robison secrétaire. La désignation de Buccleuch était purement honorifique, néanmoins il écrivit pour le premier volume des *Transactions* de la Société un rapport approfondi sur le temps et les chutes de pluie dans ses diverses résidences. Par contre Robison, professeur de physique à l'université d'Edimbourg, était le type de l'homme universel; cet homme de science avait précédemment succédé à Joseph Black à la chaire de chimie de Glasgow, et il avait occupé la chaire de mathématiques au collège naval de Cronstadt. Jeune homme, il se trouvait sur le même navire que Wolfe avant la prise de Québec, et il rapporte que l'infortuné général passa le temps du voyage sur le Saint-Laurent jusqu'aux Monts d'Abraham à réciter l'*Elégie* de Gray. Le portrait de Robison par Raeburn, don de son fils Sir John Robison — plus tard secrétaire de la Société — est sans doute le bien le plus précieux de cette dernière.

Au début on divisa les Membres — de même que les *Transactions* publiées par la Société — en deux groupes, l'un physique, l'autre littéraire. Mais on s'aperçut rapidement que le côté scientifique l'emporterait sur l'autre. Les communications littéraires étaient très rares et les réunions séparées de ce groupe cessèrent bientôt. Il n'y eut jamais qu'un seul président littéraire, Sir Walter Scott, qui remplit cette fonction de 1820 à 1832. Son portrait par Graham-Gilbert est également exposé dans les salons de la Société. Pendant longtemps il se montra extrêmement consciencieux et il assista à toutes les séances; Charles Darwin raconte dans son *Autobiographie* qu'il alla à une séance de la Société en 1827, alors qu'il était étudiant en médecine à Edimbourg, et que Walter Scott présidait.

Les publications scientifiques de la Société gagnèrent aussitôt le premier plan. Dans le tout premier volume des *Transactions*, James Hutton alluma une querelle géologique qui embrasa toute l'Europe pendant de nombreuses années: c'était une communication sur sa Théorie de la Terre, qui mit furieusement aux prises les

Neptunistes et les Vulcanistes. Ses principes essentiels furent finalement acceptés, et il est considéré comme le père de la géologie physique. Les conclusions de Hutton furent éprouvées et confirmées par les expériences directes de Sir James Hall, le deuxième président de la Société, qui peut être regardé comme le père de la géologie expérimentale. Joseph Black, pour la chimie, n'a laissé que son chant du cygne, une analyse ordinaire de certaines sources chaudes d'Islande; par contre, son élève et collègue Thomas Hope a enrichi nos connaissances par sa « Description d'un minéral de Strontian et d'une sorte particulière de terre qu'il renferme». Dans le Vol. XII, Thomas Graham publia son célèbre « Mémoire sur la loi de la diffusion des gaz ». D'autres branches de la science furent aussi dignement représentées, mais il est regrettable qu'Adam Smith, un membre fondateur, n'ait pas ajouté à son œuvre *La Richesse des Nations* quelques contributions aux publications de la Société.

Depuis sa fondation la Société a joui du droit d'élire un nombre restreint de Membres honoraires étrangers: Benjamin Franklin est l'un des premiers à qui cet honneur ait été accordé. La plupart des personnalités éminentes du progrès scientifique de tous les coins du monde prirent place dans la liste au cours des derniers 150 ans, mais le seul nom digne d'être noté ici est celui de J. Wolfgang Goethe. Goethe fut élu bien à propos pendant la présidence de Walter Scott, et il est intéressant de noter qu'il obtint cette distinction autant pour ses mérites scientifiques que pour ses mérites littéraires. Goethe lui-même était d'avis que la postérité oublierait sa poésie, mais que son ouvrage sur la lumière et la couleur resterait.

Avec le développement de la science au dix-neuvième siècle, il a fallu diviser les publications de la Société en deux parties, les *Proceedings* et les *Transactions*; et récemment les *Proceedings* eux-mêmes ont été classés en deux sections, la section de Physique et la section de Biologie. La somme des travaux publiés dans les soixante-deux volumes des *Proceedings* et les soixante-et-un volumes des *Transactions* est trop considérable pour être analysée ici; quelques articles d'un caractère exceptionnel méritent cependant un bref commentaire.

En 1846, par exemple, Clerk Maxwell, alors âgé de quinze ans et étudiant à l'académie d'Edimbourg, écrivit son premier mémoire pour la Société, sur les « Propriétés de certaines courbes ovales » — le manuscrit en a été conservé. Mais c'est Forbes, son maître, qui dut lire cette communication ainsi qu'une autre, l'année suivante, sur les courbes roulantes ou roulettes, car il était inadmissible qu'un gamin s'adressât à la Société! Si l'on avait pu deviner que ce garçon deviendrait le plus grand physicien mathématique du siècle, on en aurait peut-être décidé autrement.

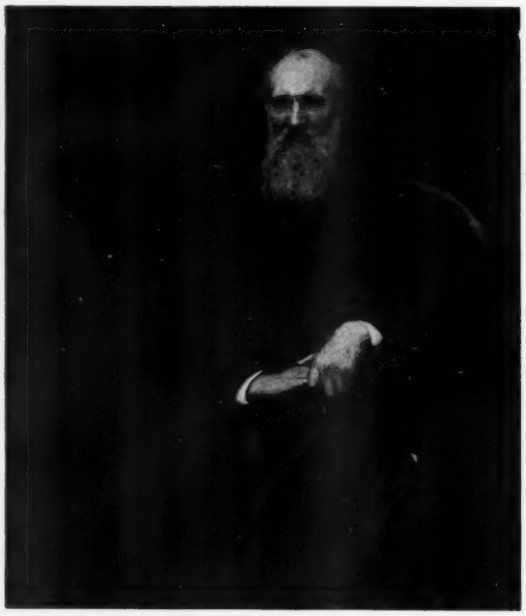


FIGURE 4 – *Lord Kelvin, Président* 1873–78, 1886–90, 1895–1907.
(*D'après le portrait par Herkomer, à l'Université de Glasgow.*)

En 1783 un autre adolescent, qui n'avait que quelques années de plus que Clerk Maxwell, reçut la permission de lire un mémoire fastidieux « De l'influence calorifique des forêts ». Il dut probablement cette faveur au fait que son père était un membre éminent de la Société—dont il devait devenir le président onze ans plus tard. Voici une phrase caractéristique de cette communication:

> On peut donc considérer une forêt comme une *surface* ou comme un *solide*; c'est-à-dire, soit comme une partie de la surface de la terre légèrement plus élevée que le reste, soit comme un corps diffus et hétérogène qui déplace une certaine partie de l'atmosphère libre et mobile.

Ceci est loin d'être aussi passionnant que l'*Ile au Trésor*, mais l'auteur n'est autre que Robert Louis Stevenson!

La seconde moitié du siècle dernier fut l'âge d'or de la Société, sous la direction éclairée de la

célèbre association « T et T » — Sir William Thomson (Lord Kelvin) et Peter Guthrie Tait. Kelvin fut président pendant trois sessions, soit vingt-et-un ans au total; Tait fut secrétaire des sessions ordinaires et secrétaire général pendant trente-sept ans en tout. Bien des rapports sur les recherches de Kelvin et presque tous ceux de Tait se trouvent dans les annales de la Société. Comme autres colosses de cette époque, citons Crum Brown en chimie et Chrystal en mathématiques.

Vers la fin de son mandat présidentiel, Kelvin dirigea avec fermeté la Société au cours d'une grave crise domestique. Depuis plus de quatre-vingts ans elle avait occupé une suite de salles de l'Institution Royale, cet édifice monumental situé en face de Princes Street, au pied du Mound. Mais en 1906 le Ministre d'Ecosse fit passer une loi au Parlement qui faisait de l'Institution Royale une galerie nationale et la consacrait aux beaux-arts. Devant cette menace d'expulsion, une délégation composée de membres influents de la Société et dirigée par Kelvin, réclama de façon pressante l'appui de l'Etat afin d'obtenir d'autres locaux suffisants pour ses réunions, et pour loger la précieuse bibliothèque, les tableaux, les manuscrits et les annales de l'ensemble de son activité. Un article fut inséré dans la loi, assurant les fonds nécessaires, et en 1909 le nouveau siège de la Société, dans George Street, fut inauguré par Sir William Turner, successeur de Kelvin à la présidence.

A cette époque les locaux semblaient spacieux, mais on y est à l'étroit aujourd'hui. Pour éviter un accroissement désordonné du nombre de membres, la Société n'en admet que vingt-cinq nouveaux par an. Cette mesure rehaussera certainement le prestige qui a toujours été attaché aux initiales F.R.S.E.; néanmoins, lors des séances mensuelles régulières, les salles de réception sont généralement bondées, et on s'arrache même souvent les places debout dans la salle de conférences. La situation de la bibliothèque est plus grave encore. La Société participe à plus de 600 échanges dans le monde entier, et sa collection de périodiques scientifiques et d'ouvrages de référence est l'une des plus complètes de l'Empire britannique. On a déjà dépassé le point de saturation pour l'empilement de nouveaux volumes, et lorsque les retards de la guerre seront réparés le conservateur officiel devra affronter un problème insoluble. De plus, la Société a un besoin impérieux de facilités pour exposer ses manuscrits: ceux-ci comptent des trésors tels que le manuscrit original de l'*Histoire d'Angleterre* par David Hume et sa correspondance avec ses contemporains éminents, comprenant sa querelle mémorable avec Rousseau.

La Société décerne plusieurs prix. Les prix Keith de physique et Makdougall-Brisbane de biologie sont attribués tous les deux ans et tour à tour, au meilleur article adressé à la Société pendant la période immédiatement précédente. Le prix Neill est également conféré tous les deux ans à un naturaliste écossais pour un mémoire d'un mérite particulier dans une branche quelconque des sciences naturelles. Le prix Gunning (Victoria Jubilee), attribué tous les quatre ans à un homme de science vivant en Ecosse ou ayant des liens avec ce pays, est destiné à récompenser un travail original en physique, en chimie ou en mathématiques pures ou appliquées. Le prix James Scott est offert tous les trois ans pour une conférence ou une dissertation sur les concepts fondamentaux de la physique; et le prix Bruce est attribué tous les deux ans pour une contribution remarquable aux sciences naturelles, « provenant d'une exploration personnelle du bénéficiaire dans les régions polaires ». De plus, la Fondation de Conférences Bruce-Preller prévoit tous les deux ans une subvention à un homme de science exceptionnel, pour une causerie en géologie, en électricité ou en physique; et la Fondation David Anderson-Barry offre tous les trois ans une médaille et un prix pour une thèse sur les rayons X et leur effet thérapeutique sur les maladies humaines. Enfin, récemment, à la demande du regretté Robert Cormack, la Société a été chargée d'administrer le reliquat de sa fortune, environ £54.000, en vue de favoriser la connaissance et la recherche de l'astronomie en Ecosse.

Pour finir sur une note épicurienne, on peut faire mention du Cercle Gastronomique de la Société, fondé en 1820. Sir Walter Scott en a expliqué ainsi le rôle:

> Cette institution est des meilleures; nous payons deux guinées pour six dîners par an seulement, que nous y assistions ou non. Le dîner a lieu à cinq heures ou plutôt cinq heures et demie à l'Hôtel Royal; il est excellent et dure jusqu'à sept heures et demie, ensuite le café, puis nous allons à la Société.

Aujourd'hui, les dîners ont lieu *après* les séances scientifiques ordinaires. Pendant la guerre, évidemment, toutes les activités gastronomiques furent suspendues, mais le 3 décembre 1945, la 599*e* réunion du cercle, en célébration de la victoire, eut lieu sous le signe d'une frugalité relative.

Les carences minérales chez les végétaux

T. WALLACE

Peu de découvertes scientifiques ont eu des répercussions sociales et économiques plus grandes que la découverte de la place des minéraux dans la nutrition des végétaux. Elle a donné naissance à l'une des branches les plus importantes de l'industrie chimique, la fabrication des engrais. Le Professeur Wallace discute ici les problèmes relatifs à la diagnose, à la cause, et au traitement des carences minérales sur le terrain. Il est nécessaire de les comprendre correctement pour utiliser les engrais chimiques avec le maximum de résultats.

Pour étudier les problèmes de la nutrition minérale des végétaux on a eu recours à trois sortes de méthodes expérimentales. On a procédé à des essais sur une grande échelle sur des plantes cultivées dans les conditions courantes, à des expériences soigneusement vérifiées utilisant des méthodes de culture en pot ou dans l'eau, et, enfin, à des expériences compliquées au laboratoire en utilisant les méthodes extrêmement perfectionnées de la chimie et de la physiologie des végétaux. Les éléments qui jouent un rôle dans la croissance des plantes se divisent en trois groupes: les *éléments essentiels principaux* — azote, phosphore, calcium, magnésium, potassium et soufre — qui sont nécessaires en quantités relativement grandes; les *éléments essentiels à l'état de traces* — fer, manganèse, bore, cuivre, zinc, et molybdène — qui sont également indispensables mais en quantités extrêmement faibles; et quatre éléments — sodium, chlore, silicium, et peut-être aluminium — qui, sans être absolument essentiels, sont certainement bienfaisants pour certaines plantes.

La carence en l'un de ces éléments peut être absolue ou relative. Ell peut être due directement à une carence prononcée de cet élément dans le sol, ou à une disette relative produite ou aggravée par l'excès d'un autre élément. Ainsi une disette de potassium peut être due à un excès d'azote ou de phosphore. Les carences en fer et en manganèse sont en grande partie déterminées par le *p*H du milieu nutritif, car ces deux éléments sont moins facilement utilisés par les plantes à des *p*H élevés; le chaulage provoque fréquemment une disette de bore. D'autre part les quantités de molybdène contenues dans l'herbe de certains pâturages atteignent des proportions toxiques pour les animaux lorsque le *p*H du sol est élevé. Finalement, il est bon d'insister sur le fait que les carences minérales sont influencées par les conditions générales du milieu: notamment les conditions atmosphériques et l'état du sol, telles que l'intensité lumineuse, la température, et l'humidité.

La carence en *azote* produit une croissance rabougrie et éparse. Les feuilles des plantes atteintes sont généralement pâles et ont tendance à prendre des colorations jaune vif, rouge, ou pourpre. La floraison, la formation de graines et de fruits sont très diminuées. Les effets de la carence en *phosphore* sont semblables à ceux de la carence en azote, mais la coloration des feuilles est souvent d'un pourpre terne ou bien le feuillage manque de lustre et paraît vert terne. Le bord des feuilles peut être desséché, comme chez la pomme de terre, ou bien la feuille peut être couverte de taches, comme pour le trèfle et le cassis. Les symptômes de la carence en *calcium* apparaissent d'abord près des points de croissance et dans les racines. Les feuilles se déforment, deviennent rudimentaires, enroulées et desséchées; les racines sont souvent rabougries; la formation de tubercules, comme dans la pomme de terre, est fortement diminuée. L'acidité du sol, qui accompagne l'insuffisance en calcium, peut provoquer des symptômes d'intoxication par le manganèse, tels que la chlorose et l'enroulement des feuilles, qui constituent des symptômes secondaires (figure 2). La carence en *magnésium* affecte surtout le feuillage. Celui-ci est généralement chlorosé, mais peut aussi présenter des teintes brillantes; les feuilles tombent prématurément, souvent sans s'être fanées auparavant. Malgré la gravité des symptômes sur les feuilles et la défoliation prononcée, les effets sur la récolte peuvent être peu importants. Les symptômes de la carence en *potassium* varient selon la gravité de celui-ci. Une insuffisance peu importante gêne la croissance des pousses tandis qu'une disette prononcée peut

FIGURE 1 – Plant de colza. *Carence en calcium. Le bord des feuilles et le mésophylle se flétrissent et se ratatinent.*

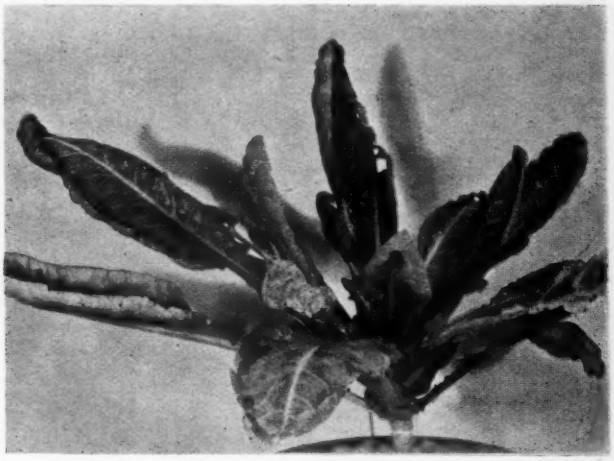


FIGURE 2 – Plant de chou-fleur. *Action toxique du manganèse due à une carence en calcium. L'action toxique du manganèse est caractérisée par l'enroulement du bord des feuilles qui est également couvert de taches, et la carence en calcium par la nécrose du mésophylle.*

les faire mourir. La plante présente en général un aspect trapu, parce que les entre-nœuds sont courts, et le développement des tiges portant des fleurs peut être empêché. Les symptômes des feuilles sont généralement caractéristiques et comprennent le desséchement des bords, la brûlure de la pointe, ou des tachetures; et il peut se produire de la chlorose entre les nervures. Le limbe peut être enroulé en avant parallèlement à la nervure principale ou recourbé en arrière. Les graines et les fruits sont généralement petits et de pauvre qualité. On ne rencontre la carence en *sodium* que chez les plantes avides de sodium telles que la betterave à sucre et la betterave fourragère. Les feuilles sont vert sombre, ternes, et se flétrissent rapidement en période de sécheresse. On n'a pas encore signalé de carence en *soufre* en Grande-Bretagne. Lorsqu'elle est provoquée volontairement chez les plantes, les symptômes ressemblent quelque peu à ceux de la carence en azote.

La carence en *fer* est caractérisée par une chlorose prononcée de l'extrémité des feuilles et des jeunes pousses; celle-ci est généralement suivie par la mort des pousses. Les feuilles peuvent être entièrement décolorées ou seulement madrées, comme chez les crucifères; chez les céréales la chlorose se présente sous forme de stries entre les nervures. La carence en *manganèse* provoque elle aussi des symptômes généralement assez marqués sur les feuilles. Ils consistent souvent en une chlorose analogue à celle que produit la disette de fer, mais beaucoup de plantes présentent d'autres symptômes caractéristiques. Chez l'avoine par exemple, ce sont des mouchetures grises. La chlorose forme généralement un motif bien déterminé, mais, contrairement à celle qui est due à une disette de fer, elle n'est pas plus prononcée sur les feuilles terminales des pousses. Les pois, et parfois certains types de haricots, présentent des lésions circulaires brunes sur les faces planes des cotylédons dans les graines (figure 12).

Les symptômes de la carence en *bore* [3] sont généralement si caractéristiques que pour beaucoup de plantes on leur a donné des noms descriptifs bien déterminés, tels que la « crown rot » de la betterave à sucre et de la betterave fourragère, le « chancre » de la betterave, le « cœur brun » du rutabaga et du navet, la « tige creuse » ou le « brunissement » du chou-fleur, etc. Les points de croissance sont généralement si gravement atteints qu'ils meurent; la moelle et l'épiderme des tiges sont lésés, et produisent des tiges caractéristiques creuses et rugueuses; les feuilles présentent souvent des bords desséchés, des

FIGURE 3 – Plants d'orge. *Carence en calcium. Les feuilles sont partiellement chlorosées et présentent des lésions blanches irrégulières.*

FIGURE 4 – Plant de betterave fourragère. *Carence en potassium. Le bord et la partie des feuilles comprise entre les nervures sont desséchés. Les feuilles les plus âgées sont les premières atteintes, se fanent de bonne heure, et tombent.*

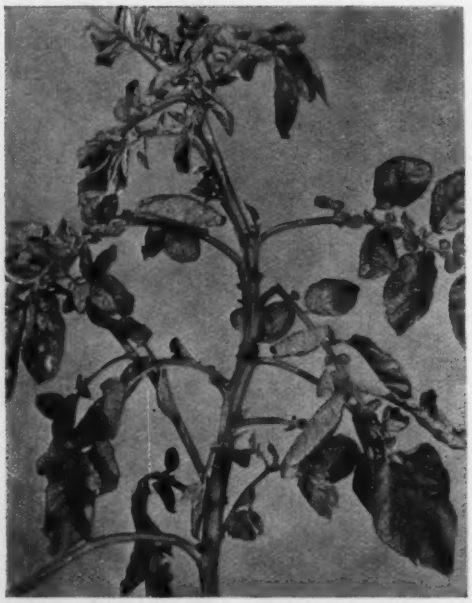


FIGURE 5 – Pousse de pomme de terre. *Carence en calcium. Les pousses sont très ramifiées, les feuilles jeunes sont très petites et leurs bords sont repliés vers la face supérieure.*

FIGURE 6 – Pousses de pommier. *Carence en fer. L'extrémité des feuilles se chlorose et plus tard leurs bords se dessèchent. Les pousses sérieusement atteintes meurent.*

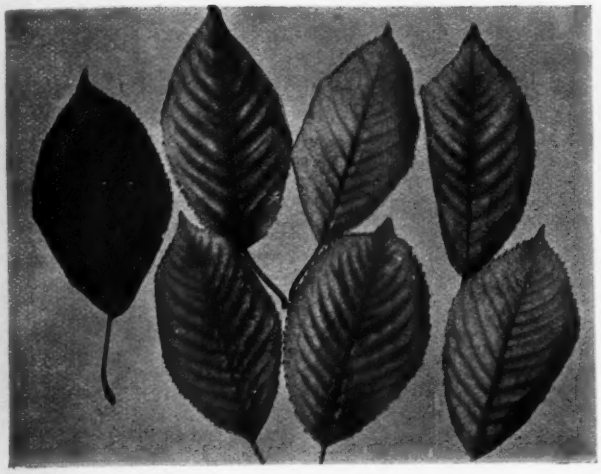


FIGURE 7 – Feuilles de cerisier. *Carence en manganèse. Les bords des feuilles se chlorosent, puis la chlorose atteint les régions comprises entre les nervures et forme des V dont la pointe est dirigée vers la nervure principale. Le limbe tout entier peut également être atteint.*

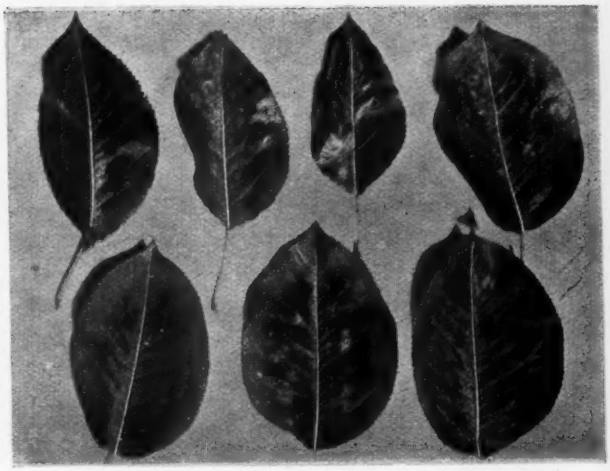


FIGURE 8 – Feuilles de poirier. *Carence en magnésium. Les régions voisines de la nervure principale et comprises entre les nervures se nécrosent.*

FIGURE 9 – Plant de chou-fleur. *Carence en magnésium. Les feuilles les plus âgées présentent des marbrures chlorotiques et peuvent également par la suite présenter des colorations rouge et pourpre.*

FIGURE 10 – Feuilles et fruits de tomate. *Carence en magnésium. Les feuilles se chlorosent, les plus âgées d'abord, puis les plus jeunes, et plus tard se nécrosent entre les nervures.*

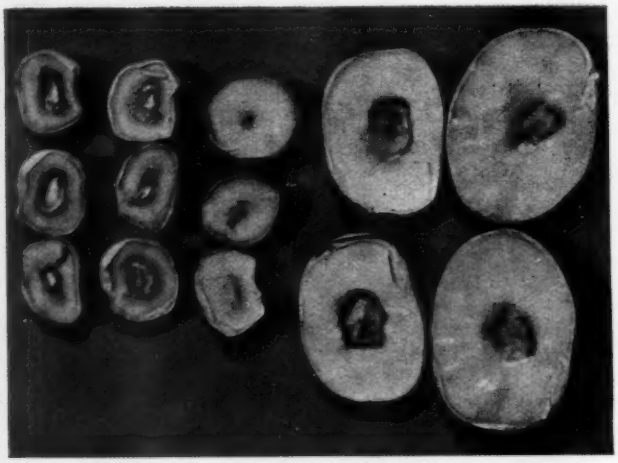


FIGURE 11 – Coupe longitudinale d'une tête de chou-fleur. *Carence en bore. Les fleurs sont brunes et la moelle de la tige principale présente des lésions brunes.*

FIGURE 12 – Graines de pois et de fèves. *Carence en manganèse. Les cotylédons présentent des lésions brunes au centre.* (*Chez les pois on les appelle « Tache de Marsh ».*)

madrures, et des régions pigmentées, et elles sont également craquelées et ridées; les fruits sont petits et mal formés, et souvent nécrosés à l'intérieur.

Bien que les carences en *zinc*, *cuivre*, et *molybdène* soient importantes chez les plantes cultivées d'autres pays, elles n'ont encore jamais été signalées en Grande-Bretagne. Le manque de zinc cause de graves maladies chez de nombreux arbres fruitiers tels que les Citrus, le pommier, le pacanier, la vigne, et les arbres à fruits à noyau [4]. Le « bronzage » de l'abrasin et la « pointe blanche » du maïs sont dues à la carence en zinc qui est également responsable du mauvais rendement en céréales de certains sols australiens. La carence en cuivre [5] cause également des maladies graves chez les arbres fruitiers, notamment l'*exanthema* des Citrus, etc. Elle affecte les céréales en Hollande et au Danemark. Les céréales australiennes en sont atteintes également. On n'a observé la carence en molybdène que chez les plantes de pâturages et les pois poussant sur certains sols argileux ferrugineux dans le sud de l'Australie et en Tasmanie [6], [7]. Piper déclare que lorsque l'on produit volontairement cette disette chez des plants d'avoine cultivés sur milieux aqueux, on observe les symptômes suivants: les feuilles supérieures se nécrosent; le tissu affaissé se dessèche et prend une couleur brun rougeâtre; très souvent les grains ne se forment pas.

La carence en azote peut se produire pour n'importe quel sol, et son apparition est fortement influencée par la façon dont le sol est traité et cultivé. Les quantités d'azote présentes dans le sol tendent à augmenter lorsqu'on y cultive de l'herbe ou des légumineuses et diminuent par emblavage. On peut produire une disette momentanée si l'on enfouit en labourant une substance organique dans laquelle le rapport azote-hydrates de carbone est faible. L'emploi d'engrais azotés permet de remédier aisément à cette insuffisance, pourvu que les autres conditions soient favorables à la croissance. La réponse est généralement rapide et spectaculaire, car l'azote est très mobile dans la plupart des sols.

En Grande-Bretagne, la carence en phosphore est surtout répandue dans le nord et dans l'ouest, régions où les pluies sont très abondantes. Les sols diffèrent considérablement au point de vue de leurs ressources naturelles en phosphore, et beaucoup de sols argileux — notamment ceux du Lias inférieur — en contiennent très peu. Les sols fortement acides, les sols argileux ferrugineux, les sols provenant de formations crayeuses et les tourbes manquent aussi généralement de

phosphore. Il existe un grand nombre de substances diverses qui peuvent fournir cet élément. Si la disette est très prononcée, il est généralement préférable d'utiliser un engrais soluble, tel qu'un superphosphate, et, pour qu'il donne le maximum de résultats, il est bon de l'appliquer au début du cycle de croissance. Certains sols, notamment les sols ferrugineux, les sols très acides, les sols calcaires et les sols argileux, sont particulièrement difficiles à traiter parce qu'ils rendent les phosphates insolubles et par conséquent inutilisables par les plantes. De nombreux procédés ont été suggérés pour venir à bout de ce problème. L'un d'eux est l'emploi d'engrais granulés qui présentent une surface relativement faible; on peut aussi mettre en terre l'engrais en même temps que la graine, ce qui assure un contact étroit. Une troisième méthode, destinée à des plantes telles que les arbres fruitiers, dont les racines sont profondes, consiste à faire pénétrer l'engrais sous pression dans le sol au moyen de lances spéciales.

La carence en calcium ne se rencontre que dans les sols acides, et elle aussi est très répandue dans les régions pluvieuses à cause de la facilité avec laquelle le calcium est entraîné par l'eau. La carence en calcium est souvent en rapport avec le faible taux de calcium des roches à partir desquelles les sols ont été formés. Sur le terrain il est difficile de distinguer les symptômes de cette disette de ceux qui sont dûs à d'autres actions accompagnant l'acidité du sol. Bien que les sels neutres de calcium puissent aider à corriger une insuffisance en calcium, rien ne peut remplacer la chaux, qui est le remède pratique courant, à cause de sa propriété de neutraliser l'acidité associée. Lorsqu'il s'agit de cultures de racines, telles que la betterave à sucre et la betterave fourragère, il est généralement recommandé pour des sols fortement acides d'enterrer par labourage un peu de chaux en outre du traitement superficiel, sinon les racines auront tendance, non pas à pénétrer dans le sol, mais à se bifurquer ou à pousser horizontalement à une faible profondeur.

C'est également sur les sols acides et pauvres en calcium que la carence en magnésium a le plus de chances de se produire. Elle peut aussi être provoquée par un excès de potasse et elle est aggravée par une insuffisance en azote. On peut y remédier par des applications de dolomie ou de sulfate de magnésium. La dolomie est préférable dans les sols acides, car elle neutralise leur acidité, mais il arrive fréquemment qu'elle ne puisse être utilisée pour les sols dont le *p*H est élevé, car elle peut, en augmentant encore le *p*H, provoquer des disettes de fer et de manganèse. Lorsque la carence en magnésium est due à un excès de potasse, il peut être nécessaire d'interrompre l'emploi de celle-ci, même pour des plantes telles que les tomates, jusqu'à ce que la proportion normale de magnésium soit rétablie. Pour certaines plantes telles que les tomates cultivées en serres et les arbres fruitiers, le traitement du sol par des produits magnésiens ne donne des résultats que très lentement, et l'on a constaté que l'on pouvait obtenir des résultats beaucoup plus rapides en pulvérisant sur le feuillage une solution à 2% de sulfate de magnésium [8].

La carence en potassium se rencontre le plus fréquemment dans les sols légers, mais elle peut exister dans n'importe quel sol sur lequel on cultive des plantes avides de potassium. En Grande-Bretagne cette carence est surtout répandue dans la région voisine de la grande zone calcaire qui s'étend du Dorsetshire au Yorkshire. Elle est provoquée par des récoltes trop fréquentes de foin, et on la rencontre couramment dans les prairies anciennes fraîchement labourées. Le meilleur remède est l'emploi d'engrais potassiques tels que sulfate, chlorure et nitrate, ou la kaïnite. On peut également utiliser diverses substances de déchet contenant de la potasse sous forme soluble; le fumier par exemple. Le potassium, comme le phosphore, est plus ou moins fixé par tous les sols, aussi son action peut-elle se produire relativement lentement. C'est notamment le cas pour les cultures fruitières, et il peut être nécessaire de continuer le traitement pendant deux ou trois saisons pour venir à bout de la carence.

On constate fréquemment en Grande-Bretagne de faibles concentrations en sodium et en chlore dans les terrains sablonneux éloignés de la mer. La meilleure méthode de remédier à ces deux carences est l'application de sel.

La carence en soufre est inconnue en Grande-Bretagne, peut-être à cause des nombreuses substances qui en contiennent et que l'on ajoute au sol. Lorsqu'elle se produit, le traitement n'est autre que l'application de n'importe lequel des engrais courants contenant un sulfate. On peut également utiliser le soufre lui-même, car il est rapidement transformé en sulfates par les micro-organismes du sol.

Un *p*H élevé du sol, et peut-être aussi un taux élevé de phosphore, sont probablement les facteurs les plus importants pour la production de la carence en fer. Le *p*H élevé empêche l'utilisation du fer par les plantes, et il n'est généralement pas possible de remédier à la disette en ajoutant au

sol des sels de fer. Un procédé de traitement consiste à pulvériser sur le feuillage une solution diluée (à 0,5% environ) de sulfate ferreux. Dans le cas des arbres, on peut injecter dans le tronc et les branches du sulfate ferreux, du citrate ferrique ou du tartrate ferrique. La présence de matière organique en état de décomposition active, ou la présence d'herbe à la surface du sol, tendent à faciliter l'utilisation du fer, et l'on peut donc obtenir parfois de bons résultats en incorporant du fumier dans le sol ou en faisant pousser de l'herbe au pied des arbres atteints. On ne peut généralement pas corriger de façon satisfaisante cette disette pour les plantes de petite taille, mais on a récemment décrit une méthode applicable aux tomates, consistant dans l'emploi d'un paillis de tourbe que l'on arrose avec une solution de sulfate de fer. On ne peut considérer les méthodes actuelles de traitement comme très satisfaisantes.

En Angleterre la carence en manganèse accompagne des conditions bien déterminées de l'état du sol. Les régions les plus étendues dans lesquelles elle existe se trouvent dans les Fens, les marais de Romney et Walland du Kent, et certaines parties du Yorkshire. Les conditions spéciales qui existent dans le sol sont un *p*H élevé (supérieur à 6,5), dû à un taux de calcaire élevé, une forte proportion de matière organique, et un drainage imparfait. Pendant la guerre cette disette était particulièrement prononcée dans des sols présentant les conditions requises lorsque l'on cultiva pour la première fois des prairies gazonnées établies de longue date. Pour corriger cette carence on se heurte aux mêmes problèmes que pour la carence en fer, mais les résultats pratiques du traitement sont plus satisfaisants. Le traitement du sol ne donne aucun résultat pour les arbres fruitiers, mais on emploie avec succès les pulvérisations aussi bien pour les cultures maraîchères que pour les arbres fruitiers. On peut compenser les effets d'un chaulage excessif par l'application de soufre à raison de 2 tonnes environ par hectare, mais ce traitement est trop onéreux. L'application de soufre abaisse le *p*H du sol. Celle de fumier de bonne qualité réussit pendant la saison de son application; l'emploi de scories basiques peut donner de bons résultats mais a le désavantage d'élever encore le *p*H du sol.

La carence en bore est probablement déterminée surtout par les sources naturelles de cet élément dans le sol. Elle est surtout répandue dans les sols sablonneux légers et dans ceux qui proviennent de formations calcaires. Elle est souvent provoquée dans les sols sablonneux par le chaulage. On la corrige facilement par application de borax ou d'acide borique. Chez les arbres fruitiers on peut aussi y remédier par injection dans le tronc ou par pulvérisation de solutions de borax.

On n'a pas pu déterminer les conditions dans lesquelles se produisent les carences en zinc et en cuivre, car elles ne se rencontrent pas en Grande-Bretagne. On ne connaît pas très bien les facteurs déterminants, mais on pense que ce sont les organismes du sol qui sont responsables de l'insuffisance en zinc utilisable et qu'elle peut être aussi le résultat de fortes concentrations en phosphore. La carence en cuivre se rencontre surtout dans les sols tourbeux, mais elle existe également dans les sols sablonneux. On peut remédier à ces deux disettes en ajoutant au sol du sulfate de zinc et du sulfate de cuivre, ou en les pulvérisant sur le feuillage, ou encore en les injectant dans les tiges selon le procédé utilisé pour le manganèse.

Les seuls cas connus de carence en molybdène ont été observées dans les prairies et sur les pois cultivés sur les sols argileux ferrugineux d'Australie et de Tasmanie. Lorsque le molybdène existe en quantités toxiques dans l'herbe, sa disponibilité augmente si le *p*H s'élève. On a corrigé la disette par application de molybdates d'ammonium ou de sodium, de molybdénite calcinée, ou de cendres de bois.

BIBLIOGRAPHIE

[1] RUSSELL, F. C. «Minerals in Pasture. Deficiencies and Excesses in relation to Animal Health.» *Imp. Bur. of Animal Nutrition, Aberdeen. Tech. Commun.*, 1944, No. 15.

[2] WALLACE, T. *The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants: A Colour Atlas and Guide.* H.M.S.O., 1944, London.

[3] DENNIS, R. W. G., et O'BRIEN, D. G. «Boron in Agriculture.» *Res. Bull.*, 1937, No. 5. The West of Scotland Agricultural College, Plant Husbandry Dept.

[4] CHANDLER, W. H. «Zinc as a Nutrient for Plants.» *Bot. Gaz.*, 1937, **98**, 625.

[5] SOMMER, ANNA L. «Copper and Plant Growth.» *Soil Sc.*, 1945, **60**, 71.

[6] ANDERSON, A. J. «Molybdenum Deficiency on a South Australian Soil.» *J. of Austr. Inst. of Agric. Sc.*, 1942, **8**, 73.

[7] FRICKE, F. E. «Pasture Establishment on Ironstone Soil at Cressy: Molybdenum Deficiency.» *Tasmanian J. of Agr.*, 1943, **14**, 69.

[8] JONES, J. O., NICHOLAS, D. J. D., WALLACE, T., et JEFFERISS, A. «Experiments in the Control of Magnesium Deficiency in Glasshouse Tomatoes.» *Ann. Rep. Long Ashton Res. Stn.*, 1944, 61.

Un nouveau médicament contre le paludisme, la paludrine

FRANK L. ROSE

La prise des plantations de quinquinas des Indes Néerlandaises par les japonais au moment où les Nations Unies devaient maintenir des forces importantes dans des régions où le paludisme règne en maître, faillit leur porter un coup très rude. On put heureusement parer au plus pressé par la production sur une grande échelle d'une substance synthétique, la mépacrine. Mais l'on continua en Grande-Bretagne, des recherches intensives dans le but de trouver des produits anti-paludéens nouveaux et meilleurs.

Le paludisme est l'un des plus grands fléaux de l'humanité. Aujourd'hui encore des millions de gens en sont atteints chaque année et l'on estime a environ trois millions par an le nombre des morts causées par cette maladie. Il n'est pas possible d'apprécier le nombre de ceux qui, affaiblis par elle, succombent à d'autres maladies graves. Le paludisme a dans le passé anéanti des populations entières, empêché la colonisation, et arrêté des armées victorieuses. On ne le rencontre pas uniquement sous les tropiques. Il existait autrefois à l'état endémique en Grande-Bretagne. On le rencontre encore aujourd'hui dans les régions tempérées sous sa forme tierce, et à certains moments de l'année il est présent dans le sud des Etats-Unis d'Amérique sous sa forme tropicale. Tout le monde sait que le paludisme est transmis d'un homme à l'autre par un moustique, l'anophèle, mais peu de gens savent que le parasite responsable passe par un cycle évolutif compliqué dont certaines phases n'ont pas encore été complètement élucidées.

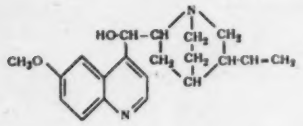
Il est commode de faire commencer le cycle au stade de *sporozoïte*, qui est la forme sous laquelle le parasite est présent en grand nombre dans les glandes salivaires du moustique. De là il passe dans le sang de l'homme au moment où l'insecte le pique. Puis il disparaît pendant quelques jours. Les évènements qui se passent par la suite montrent qu'il est resté vivant et a subi des modifications, probablement dans les tissus de l'organisme, mais personne ne sait vraiment ce qui se passe, et l'on a proposé de donner à cette forme du parasite le nom de *cryptozoïte*. Le parasite redevient visible dans le sang humain sous sa forme en anneau, soit à l'intérieur des hématies, soit fixé sur celles-ci. L'évolution continue et la chromatine du noyau se divise, c'est le stade *schizonte*, se séparant en de petits éléments appelés *mérozoïtes*. Le globule rouge de l'hôte éclate mettant en liberté dans le courant sanguin ces nouvelles formes qui se fixent sur d'autres globules rouges et continuent à se multiplier. L'accès de fièvre coïncide aves cette rupture périodique des hématies, et les intervalles de temps s'écoulant entre les frissons sont caractéristiques de l'espèce de parasite cause de la maladie. Après être passés plusieurs fois par ce cycle (*schizogonie*), certains des parasites, alors qu'ils sont encore à l'intérieur des hématies, se différencient en parasites mâles et femelles appelés *gamétocytes*. Ceux-ci se libèrent ensuite en détruisant les cellules de leur hôte mais ne subissent pas d'autre modification chez l'homme. Ils peuvent alors être absorbés par un moustique. Après d'autres transformations comportant la fusion sexuée le cercle évolutif est complet et les sporozoïtes font à nouveau leur apparition dans les glandes salivaires du moustique.

Lorsque les recherches dont nous allons parler furent entreprises, on ne connaissait que trois substances capables d'enrayer le paludisme chez l'homme. C'étaient la quinine et ses dérivés, existant à l'état naturel, et les produits synthétiques mépacrine et pamaquine. Aucune de ces substances ne pouvait être considérée comme le médicament antipaludéen parfait. Toutes trois présentent une certaine toxicité, et la mépacrine est une substance colorée donnant une pigmentation jaune de la peau. La quinine et la mépacrine n'agissent que sur les formes sanguicoles du parasite. En d'autres termes, elles n'agissent que quelque temps après que l'organisme a été atteint, et ne produisent pas de guérison radicale. La pamaquine est active contre les gamétocytes et empêche la réinfestation du moustique, et quelques chercheurs ont prétendu qu'elle réduisait la fréquence des rechutes, mais elle est si toxique qu'elle ne peut être utilisée que sous surveillance médicale

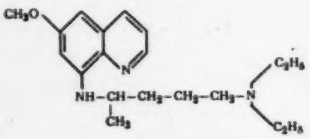
très stricte. De plus, ces substances sont difficiles à préparer et ne pouvaient donc être employées de façon extensive, notamment sur les populations indigènes.

Le but des recherches devait donc être la production d'une substance incolore, non toxique, de structure aussi simple que possible, qui soit active non seulement contre les formes sanguicoles, mais aussi contre les formes plus jeunes du parasite et qui constitue donc un agent prophylactique qui éliminerait la maladie le plus près possible de ses débuts.

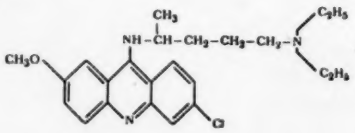
parasite « disparaît » pendant une certaine période après son arrivée chez son hôte, puis il apparaît dans les globules rouges. Les oiseaux utilisables sont le poussin, le caneton, le moineau de Java, et le canari. Chacun d'eux présente sa susceptibilité propre aux différentes souches virulentes du parasite, désignées par des noms tels que *Plasmodium* (ou *P.*) *gallinaceum*, *P. lophurae*, et *P. relictum*. Le choix de l'oiseau et de la souche de parasite les plus favorables aux recherches de laboratoire demandait beaucoup de soin car un choix malencontreux pouvait amener à aban-



Quinine



Pamaquine



Mépacrine

La chimiothérapie nécessite, dans la mesure du possible, l'expérimentation sur des animaux de petite taille. En premier lieu, il est préférable de ne pas essayer directement sur l'homme des substances nouvelles, à moins qu'il n'y ait pas d'autre alternative. D'autre part, on administre généralement les médicaments en grammes par kilogramme de poids corporel, et comme beaucoup de substances sont extrêmement complexes et que leur préparation, même en petites quantités (1 g ou moins) est souvent laborieuse, le choix de petits animaux pour l'expérimentation permet d'étudier l'action d'une substance sur le maximum de « cas ». Heureusement beaucoup des maladies auxquelles l'homme est sensible, et particulièrement les infections bactériennes, peuvent être reproduites sur des animaux tels que la souris, et il y a beaucoup de chances pour que les substances qui se montrent actives chez l'animal se montrent également actives chez l'homme.

Ce processus est moins aisément applicable au paludisme. On ne connaît pas de petits mammifères de laboratoire qui soient sensibles au paludisme de l'homme. On rencontre des formes de paludisme chez les singes, mais on ne peut les considérer comme de petits animaux, et d'autre part, ce sont peut-être les animaux de laboratoire les moins maniables. Mais quelques oiseaux sont sensibles à des parasites voisins de ceux du paludisme humain. Le parasite est transmissible par un moustique, mais il appartient à une autre espèce que le parasite du paludisme humain. Le

donner une substance précieuse au point de vue du paludisme humain, parce qu'elle s'était montrée inactive ou presque inactive vis-à-vis de la souche utilisée. La solution idéale aurait été d'avoir autant d'hôtes différents que possible, mais ceci n'était pas praticable.

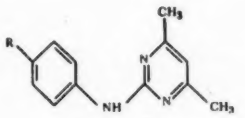
Il n'est pas possible d'exposer ici les raisons qui ont amené au choix définitif (un compte-rendu détaillé en a été donné dans *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, Dec. 1945), mais la suite des évènements a montré combien avait été heureux le choix de poussins infectés par *P. gallinaceum* pour les premiers essais destinés à trier les différentes substances préparées par les chimistes. On utilisa également d'autres hôtes infestés par d'autres souches du parasite pour différencier des substances dont le mode d'action semblait différent. On fit une étude poussée de la portion du cycle évolutif du parasite chez le poussin, et l'on a supposé que chez cette espèce la phase sporozoïte est suivie par une *phase primaire tissulaire* (ou *phase exoglobulaire*), et que celle-ci est suivie par les formes sanguicoles. Celles-ci redonnent à leur tour une phase tissulaire qui peut être très voisine des formes tissulaires primaires. Cette phase secondaire pourrait à son tour conduire à d'autres formes sanguicoles ou *endoglobulaires* de sorte que le cycle se maintiendrait à l'intérieur de l'hôte. On s'attendait évidemment à de grandes différences entre le cycle évolutif du parasite chez le poussin et ceux des différentes espèces de parasites chez l'homme, mais on considérait que l'existence

et la persistance d'une phase tissulaire secondaire chez l'homme, telle que celle que l'on supposait se produire chez le poussin, pourrait expliquer les rechutes rencontrées dans le paludisme humain. On espérait donc pouvoir distinguer, grâce aux essais sur le poussin, entre des substances agissant comme des agents prophylactiques vrais, ou comme des agents curatifs, ou qui influeraient sur la fréquence des rechutes.

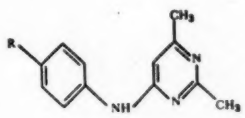
Lorsqu'on étudie une série de médicaments, on constate fréquemment que les premières préparations ne présentent que des traces d'activité. A moins d'avoir un test physiologique très sensible, cette faible activité pourrait passer inaperçue, et l'on risquerait ainsi de laisser de côté une forme chimique qui aurait donné par la suite des substances très actives. L'un des caractères de l'essai mis au point pour les recherches dont nous parlons était sa très grande sensibilité, et de plus, il donnait des résultats satisfaisants au point de vue statistique et permettant de différencier des substances d'activité presque identique. Grâce à cela, les chimistes ont pu juger si les modifications de structure qu'ils obtenaient les rapprochaient ou non de leur but.

Considérons maintenant le côté chimique de ces recherches. Le premier pas était le choix d'un nouveau type moléculaire non encore étudié. On avait décidé de procéder ainsi puisqu'il avait été démontré que les recherches extensives faites dans le monde entier à partir des trois substances mentionnées plus haut ne paraissaient pas devoir résoudre le problème. On choisit le noyau de la pyrimidine. En premier lieu parce que, à la suite des travaux sur les dérivés de la sulfapyrimidine, on connaissait bien la chimie de cette série, et que, de plus, on venait d'apprendre que ces substances présentaient une certaine activité antipaludéenne. D'autre part, sa structure se prêtait aisément à l'introduction des groupements chimiques que l'on supposait avoir une activité antipaludéenne; enfin, c'était l'une des molécules « vitales » que l'on rencontre dans de nombreux systèmes physiologiques importants tels que les acides nucléiques et de nombreuses diastases.

Quant aux modifications à faire subir au noyau de la pyrimidine afin d'obtenir des substances antipaludéennes, on s'inspira de l'étude des molécules de pamaquine et de quinine, cette étude avait montré qu'elles pouvaient être considérées comme des dérivés du benzène, contenant un groupement méthoxy, et associé à un anneau comportant un atome d'azote et une « chaîne latérale basique ». La présence de chlore dans la mépacrine fit penser que cet élément pouvait également influer sur l'activité antipaludéenne. Les premières préparations étaient de structure très simple telles que (I) et (II). Elles étaient inactives. On prépara ensuite (III) et 2666 en introduisant dans la molécule des chaînes latérales dialkylaminoalkylamino. Le 2666 présentait une certaine activité contre les formes sanguicoles du parasite chez le poussin. Un essai thérapeutique préliminaire sur l'homme échoua, mais on avait surmonté le premier obstacle, et non le moindre, puisque l'on avait trouvé un fil conducteur et la recherche s'intensifia. L'une des techniques les plus satisfaisantes en chimiothérapie consiste à élaborer une hypothèse de la relation existant entre la structure chimique et l'activité biologique, puis de chercher à la vérifier par la synthèse. Dans le cas particulier, plusieurs projets furent pris en considération. L'un de ceux-ci cherchait à expliquer l'activité du 2666 en se basant sur une

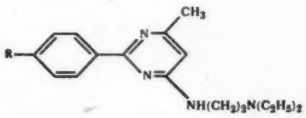


(I)

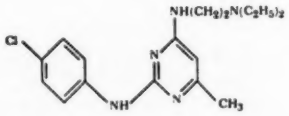


(II)

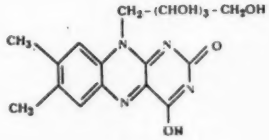
R=H, OCH3, Cl



(III)



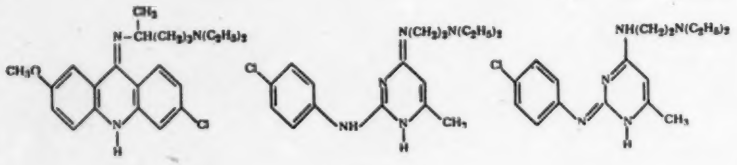
(2666)



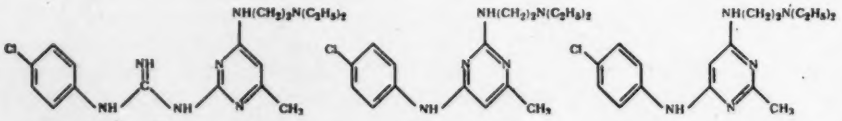
(IV)

parenté de structure avec le facteur de croissance riboflavine. Ceci était en accord avec un point de vue nouveau en chimiothérapie qui avait été énoncé pour la première fois par D. D. Woods en 1940 pour expliquer l'activité de la sulfanilamide, et qui fut énoncé peu après dans un sens plus général par P. Fildes, qui considérait que certains agents thérapeutiques agissent sur des micro-organismes, bactéries par exemple, en les empêchant d'utiliser les facteurs chimiques essentiels à leur croissance et à leur multiplication. Cette hypothèse semblait presque toujours impliquer une analogie de structure entre le facteur de croissance et son inhibiteur. La comparaison entre les formules du 2666 et de la riboflavine (IV) indiquait une légère ressemblance de forme, et une étude biochimique ultérieure montra que, au moins en ce qui concerne la croissance du microbe *Lactobacillus casei*, ces deux substances sont antagonistes. C'en était assez pour encourager des recherches destinées à augmenter l'antagonisme, mais, bien que l'on ait préparé de très nombreux composés, on n'a pas fait de progrès substantiels dans ce sens.

Une seconde hypothèse portait sur les possibilités de tautomérie que présentaient les substances actives, et c'est en travaillant sur cette hypothèse que l'on est arrivé à la paludrine. Schönhofer (qui découvrit la pamaquine) avait montré que le noyau central de la mépacrine pouvait subir une transformation tautomérique par migration de l'atome d'hydrogène du groupement imino en position 5 de l'anneau azoté, donnant ainsi le groupement *p*-quinonoïde des liaisons, représenté en (V). La molécule de 2666 (VI) pouvait présenter une disposition analogue et l'examen plus minutieux de la molécule révéla qu'il pouvait y avoir jusqu'à six structures tautomères. Certaines d'entre elles, (VII) par exemple, appartenaient au type *o*-quinonoïde. Quelques mois après le 2666, on obtenait le 3349, très voisin du précédent, mais possédant un groupement guanidine reliant les noyaux benzénique et pyrimidinique. L'introduction de ce groupement augmenta encore le nombre des tautomères possibles. On constata que ceci était accompagné d'une augmentation d'activité antipaludéenne chez le poussin, et l'on découvrit pour la première fois dans cette nouvelle série une activité antipaludéenne chez l'homme. Autre fait important, on remarqua que les deux isomères du 2666, (VIII) et (IX), dans lesquels les groupements attachés au noyau de la pyrimidine étaient transposés, étaient respectivement actif et inactif. En analysant la tautomérie de ces structures on s'aperçut qu'il existait moins de possibilités pour (IX) que pour 2666, 3349 ou (VIII). De plus, les tautomères différaient qualitativement de ceux des substances actives. Pour ces dernières, il était possible de représenter la molécule par une formule telle que l'anneau benzénique et la chaîne latérale basique étaient rattachés par un système conjugué constitué par des atomes de carbone et d'azote alternés. La structure (VII) illustre ceci pour 2666, et (X) représente la même disposition pour 3349. Il était impossible de faire entrer dans le même tableau la structure inactive (IX). On pensa que c'était là le secret de l'activité antipaludéenne dans ce

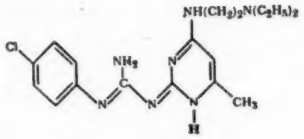


(V) (VI) (VII)

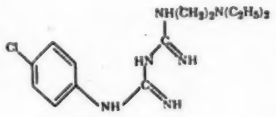


(3349) (VIII) (IX)

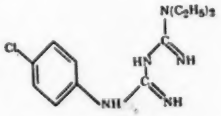
type de substance chimique. S'il en était ainsi, il s'ensuivait que l'anneau central n'était pas essentiel et que tout système voisin présentant l'alternance voulue d'atomes de carbone et d'azote avec les doubles liaisons nécessaires pourrait être actif contre le paludisme. Le type moléculaire le plus simple répondant à ces conditions était celui des biguanides, et l'on prépara le composé (XI), formulé de façon à montrer sa parenté avec 2666. Ce composé se montra inactif chez le poussin. Mais comme c'était une base plus forte que le 2666, l'on prépara par synthèse un nouveau composé, le 3936, éliminant une partie de la chaîne basique. L'activité réapparut et s'avéra plus étendue puisqu'elle atteignait pour la première fois les formes exoglobulaires du parasite. L'étape suivante consistait à modifier la molécule de 3936 pour voir si l'on obtiendrait une substance plus active. On synthétisa la paludrine en novembre 1944, et elle s'avéra la plus active des substances antipaludéennes du groupe des biguanides. On l'administra par voie buccale sous forme de chlorure incolore, et elle se montra, chez le poussin et les autres animaux de laboratoire, plus active que la mépacrine ou la quinine, avec une activité plus étendue. Non seulement elle détruit le parasite dans le sang des oiseaux, mais encore, si elle est administrée au moment favorable elle empêche le développement de la maladie. Elle est bien tolérée par l'homme; on en a donné des doses allant jusqu'à 1,5 g par jour, et une dose de 10 mg par jour est active dans la phase clinique du paludisme. De plus, il semble probable que les possibilités révélées par les essais sur le poussin se retrouveront chez l'homme, et qu'il sera possible de lutter dans une certaine mesure contre la maladie dès son inoculation par le moustique. Les premiers résultats ont montré qu'elle pouvait être un agent prophylactique vrai dans le paludisme tierce malin, et partiellement prophylactique dans la fièvre paludéenne tierce bénigne.



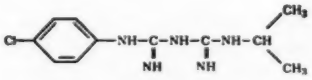
(X)



(XI)



(3936)



Paludrine (base)

Mais il reste encore beaucoup à faire avant que l'on connaisse le résultat définitif et que l'on sache quelle sera la place de la paludrine dans l'arsenal de la médecine tropicale; mais, même si on l'estime à sa moindre valeur, elle apporte à la chimiothérapie du paludisme un type chimique nouveau qui constitue pour le biologiste et le chimiste un terrain de recherches.

BIBLIOGRAPHIE

CURD, F. H. S., DAVEY, D. G., et ROSE, F. L. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 1945, **39**, 139, 157, 208.

ADAMS, A. R. D., MAEGRAITH, B. G., et d'autres collaborateurs. *Ibid*, 165, 169, 173, 180, 217, 225, 232.

La science et la société: principes fondamentaux

E. F. CALDIN

Presque toute la littérature récente sur le rôle social de la science est dénuée de valeur en raison du parti-pris politique des auteurs. M. Caldin a su, dans cet article, éviter cet écueil sans pourtant laisser de côté les problèmes fondamentaux. Il soutient la thèse solide mais si souvent passée sous silence, selon laquelle la science est une source de vérité autant qu'un moyen d'améliorer nos conditions d'existence. Tous les hommes de science trouveront ici matière à profonde réflexion.

Au moment où la Grande-Bretagne établit ses programmes en vue d'un vaste développement de la recherche scientifique, il semble particulièrement important de définir exactement les valeurs fondamentales de la science afin d'attirer le personnel voulu et de le maintenir son confiance favorable. Le point de départ est d'en reconnaître les deux aspects: *a*) c'est une source de connaissances et *b*) son application permet de modifier les conditions matérielles d'existence. La science doit son prestige actuel aux résultats obtenus dans ce dernier rôle; mais pour qu'elle puisse progresser, c'est sur le premier qu'il faut insister. C'est l'importance de la science comme source de vérité qu'il est important de discuter.

La confusion habituelle entre la science et ses applications, c'est-à-dire entre la connaissance de la nature et l'action sur la nature pour des buts utilitaires, rend cette discussion malaisée. Mais cette confusion n'est toutefois pas sans excuse: dans notre organisation économique industrielle et plus encore dans la mobilisation des scientifiques en temps de guerre, une proportion importante des jeunes gens qui quittent l'université avec une formation scientifique doit utiliser ses connaissances théoriques pour agir sur la matière dans un but technique utilitaire. Or ceci est un des cas où une faute minime dans les prémisses conduit à une erreur grossière dans les conclusions: ne pas faire dès le début les distinctions nécessaires conduit à une fausse conception du rôle de la science dans la société. La plupart des auteurs qui traitent ce sujet pensent au rôle de la technologie, et ne considèrent la science que dans ses relations avec la technologie. Il nous semble donc indispensable de formuler les bases rationelles de certaines distinctions nécessaires.

On peut distinguer trois domaines dans lesquels un homme ayant reçu une formation scientifique peut exercer son activité: 1) la science pure, 2) la science appliquée et 3) la technologie. La « science pure » est l'étude de la nature pour le seul bénéfice intellectuel en dehors de toute application matérielle. Sa méthode est basée sur l'observation et l'expérimentation, dont les résultats sont interprétés sous forme d'hypothèses qui, bien que temporaires, permettent une meilleure compréhension des phénomènes naturels. La « science appliquée » utilise la même méthode et arrive à des résultats semblables; mais elle recherche la connaissance surtout aux fins d'applications pratiques. Les ressemblances entre la science pure et la science appliquée sont nombreuses: toutes deux travaillent sur les mêmes sujets, elles emploient les mêmes méthodes, et émettent des hypothèses semblables. Ni la formation ou la compétence des chercheurs, ni l'organisation de leurs travaux, ni leur méthode, qui est toujours la méthode scientifique propre aux sciences naturelles, ni les résultats des travaux, qui sont toujours en fin de compte une meilleure connaissance de la nature ne nous donnent donc un critère de distinction entre science pure et science appliquée. Et cependant les vues générales des représentants de la science pure et de ceux de la science appliquée diffèrent très sensiblement, et la raison s'en trouve dans la différence des buts qu'ils se proposent dans leurs travaux. Le but de la science pure est le bénéfice intellectuel que procure à l'humanité la connaissance du monde et c'est le progrès vers la vérité et la valeur morale possible pour les hommes qui se consacrent à l'étude scientifique de la nature. Le but de la science appliquée est le contrôle de la nature pour augmenter le bien-être matériel de l'humanité. La distinction entre ces buts correspond à celle qui existe entre les facultés spéculatives et les facultés pratiques de l'esprit humain.

Loin d'être gratuite, cette distinction entre les buts poursuivis correspond à une différence profonde entre les vues générales des hommes de science en question, à une orientation différente dans le choix des sujets de recherche, à une appréciation différente des points importants et enfin à des différences d'opinion sur la direction que doit prendre la recherche fondamentale, la question étant de décider si celle-ci doit rechercher le développement logique des connaissances déjà acquises ou au contraire étudier des questions d'importance technique probable. C'est aussi dans leurs buts que diffèrent la science et la technologie; la technologie applique les connaissances acquises par la science pure et la science appliquée à l'élaboration et à la pratique de techniques de contrôle du monde matériel; et alors que la recherche scientifique se consacre au progrès et à l'organisation des connaissances acquises, la recherche technologique vise à l'application de ces connaissances à des buts non-scientifiques.

Beaucoup de gens et même des hommes de science éprouvent de la difficulté à découvrir les bases de la différence entre la technologie et les sciences pure et appliquée. Etudiant le monde avec les mêmes armes intellectuelles, utilisant dans la recherche des méthodes expérimentales et partageant le même vocabulaire, elles ont évidemment de grandes affinités. La technologie dépend de la science pour les connaissances qu'elle applique, et lui fournit parfois matière à progrès sous forme de nouvelles observations ou en lui posant de nouveaux problèmes. Et il serait actuellement impossible de séparer de la technologie l'étude même de la science, celle-ci dépendant intimement de celle-là tant pour ses matières premières que pour ses appareils. Et cependant, si les mots « distinction rationelle » ont un sens, il est impossible de ne pas les différencier. Ici encore la première différence est celle des buts; les qualifications discutées ci-dessus pour la science appliquée sont valables pour la technologie, mais les différences de point de vue général et d'organisation du travail sont encore plus marquées; on impose par exemple au technologie le problème dont il doit fournir la solution, alors qu'il est essentiel en science pure que la recherche soit libre. La seconde différence est une différence de méthode: celle de la recherche technologique moderne consiste à appliquer des résultats scientifiques connus et, si ceux-ci sont incomplets, à faire quelques expériences supplémentaires *ad hoc*. Si la question est relativement simple et que nos connaissances soient suffisamment avancées, il est seulement nécessaire de vérifier un résultat déjà prévu sur la base de ces connaissances. Mais il arrive souvent que plusieurs facteurs inconnus entrent en jeu, que les données scientifiques n'existent pas sur une gamme suffisante ou que plusieurs phénomènes se déroulant simultanément réagissent entre eux: le technologue doit alors essayer plusieurs procédés avant d'aboutir au résultat cherché.

Ces recherches expérimentales présentent plusieurs analogies importantes avec les expériences scientifiques. On y contrôle des facteurs variables dont on étudie la corrélation. Mais cette méthode diffère profondément dans son ensemble de la méthode scientifique. L'expérience scientifique, qui a pour but une meilleure compréhension du système étudié, est intimement liée à l'autre aspect de la méthode scientifique, qui consiste à énoncer d'hypothèses explicatives; une expérience qui ne fait pas mieux comprendre un phénomène est un échec et les expériences sont généralement déstinées à vérifier une hypothèse donnée. La technologie expérimentale au contraire, excepté dans la mesure où des résultats scientifiques déjà connus sont utilisés, procède par tâtonnement et n'amène pas à une meilleure compréhension de la nature. La technologie se contente généralement de classer ses observations sous une forme commode permettant d'arriver à certains buts pratiques et ne cherche pas à comprendre leurs relations. La technologie suppose la connaissance scientifique mais normalement n'y contribue pas: des collections de données même nombreuses et précises ne constituent pas une connaissance scientifique, bien qu'elles puissent lui en fournir la matière. On trouve enfin une troisième différence dans le nombre plus restreint de sujets qui intéressent la technologie: beaucoup de phénomènes d'un intérêt scientifique puissant tels que les éclipses lui sont inutiles et elle les ignore.

Etant données ces différences de but, de méthodes et de sujets, il ne semble pas possible de soutenir, comme le voudraient certains, que science et technologie sont indivisibles et non différenciables. La littérature récente sur la place de la science dans la société moderne concerne surtout la technologie et considère la science uniquement comme une base essentielle de celle-ci. Personne ne niera que la technologie ne soit d'importance vitale pour la Grande-Bretagne, mais sa place dans la société moderne est un problème d'un tout autre ordre que celui de la place de la science. De plus, si les hommes de

science sont spécialement qualifiés pour traiter le second, ils n'ont pas plus de titres que le reste de leurs concitoyens à traiter le premier. C'est du second problème que nous allons nous occuper maintenant.

Le problème important pour les hommes de science et ceux qui ont quelques connaissances scientifiques est celui de l'influence de la science sur leur pensée et leur vie pratique, et par là sur leurs concitoyens. Car la part de notre vie que nous réservons à la science influence le reste; son travail scientifique fera de l'homme de science un homme meilleur ou pire et son influence sur ses contemporains sera parallèlement utile ou nuisible. Il est donc important de comprendre comment la science doit s'intégrer dans la vie de l'homme de science et quelle en est la conséquence vis-à-vis de son influence sociale.

Cette intégration est basée sur le fait que l'activité scientifique est un aspect de l'activité rationelle, ou l'adaptation à une certaine proportion des principes communs à toute vie rationelle. Le développement normal de cette activité doit renforcer les qualités qui rendent la vie rationelle possible dans tous les domaines. L'activité scientifique est essentiellement un type d'activité soumis aux lois de la raison pure. Premièrement, elle se base sur le témoignage de nos sens: non pas un témoignage au hasard, ou de seconde main, mais celui qu'obtient par des observations patientes et des recherches intelligentes un esprit avide de connaissances nouvelles, mais habitué aux vérifications minutieuses. Deuxièmement, elle demande que ces observations soient interprétées par notre raison qui classe les données sensorielles: ceci à son tour exige une logique rigoureuse, une imagination contrôlée, des facultés d'intuition, d'analyse et de synthèse: nous devons apprendre par l'expérience au lieu d'inventer des explications animistes, et interpréter raisonnablement cette expérience au lieu de nous contenter de l'enregistrer ou de l'appliquer. Troisièmement, elle est caractérisée par le passage continuel de l'expérimentation à la théorie et de la théorie à l'expérimentation; les expériences suggèrent des hypothèses qui doivent elles-mêmes être vérifiées par de nouvelles expériences. La vie scientifique demande une unité d'action et de pensée. Quatrièmement, c'est une tradition vivante et non pas un ensemble de règles immuables, ni un assemblage informe de faits d'authenticité variable dépourvus de critères permettant d'apprécier les progrès réalisés; l'esprit scientifique ne tolère ni une immobilité stérile, ni l'instabilité; les propositions scientifiques doivent être révisées périodiquement et constamment mises au point. Cinquièmement, l'activité scientifique exige en conséquence la liberté: liberté de pensée et de discussion, de publication, et de recherche. Sixièmement, le travail scientifique a un caractère social aussi bien que personnel. L'homme de science doit accepter un grand nombre de faits établis par ses prédécesseurs et ses collègues, et c'est très rarement qu'un domaine important de la science reste longtemps le monopole d'un seul chercheur. En conséquence la pratique de la science exige à la fois une parfaite honnêteté intellectuelle et le respect de ses collègues, l'acceptation des opinions des autres et la volonté de parfaire les siennes, et la mesure tant dans l'exposition de ses propres théories que dans la critique de celles des autres. L'attitude mentale idéale est celle dans laquelle l'approbation et la critique s'équilibrent.

Ces six principes généraux gouvernent les autres domaines intellectuels et même toute activité rationellement dirigée, qu'il s'agisse de recherche philosophique ou du travail du fermier. Chacun y reconnaîtra les principes en honneur dans sa spécialité. Mais dans les sciences naturelles nous utilisons une certaine version de ces principes, une certaine forme de la méthode rationelle. Les historiens, les philosophes, en utilisent d'autre; et les artisans, les hommes d'affaires et les ménagères ont aussi leur méthode rationelle adaptée à leur travail. La méthode des sciences naturelles n'est pas le seul moyen rationnel d'arriver à la vérité, mais c'est un aspect de la méthode rationnelle adaptée à un certain ensemble de vérités. Souligner ce point permet de déceler et corriger une erreur commune. Beaucoup pensent à tort que les méthodes des sciences naturelles sont les seules qui amènent à la vérité absolue dans tous les domaines; que seul est vrai ce qui peut être prouvé par la science et que les propositions métaphysiques, par exemple, sont sans signification ou à tout le moins indémontrables. L'erreur ici est de prendre la partie pour le tout et la méthode scientifique pour la seule méthode rationnelle. La vérité toutefois est que l'activité scientifique est inséparable des autres activités rationnelles, et qu'elle en est non seulement un aspect mais aussi un résumé. En étudiant la science et en se familiarisant avec cette forme d'activité rationnelle on arrive à comprendre l'activité rationnelle en général: on réalise les principes généraux de toute procédure rationnelle par l'application d'une de ses formes.

Il devrait alors être facile de les adapter à d'autres études ou à la vie en général. La science est, en un mot, une école de la vie rationnelle.

Ouvrons ici une parenthèse pour insister sur la nécessité de définir clairement dans la vie scientifique et intellectuelle contemporaine les analogies et différences entre les méthodes de la science, de la philosophie, de l'histoire, de la littérature, etc. Il est temps de mettre au point l'étude comparative de méthodes rationnelles. Il faudrait procéder à une étude destinée à montrer exactement que les méthodes de ces diverses disciplines sont toutes des aspects de la même méthode générale où la raison se base sur les résultats de l'expérience; elles présentent cependant des différences légitimes. Cette œuvre constructive réduirait le malaise intellectuel moderne, qui provient de l'absence de synthèse. Sans celle-ci, on tend à ériger en systèmes généraux des aspects particuliers — par exemple à trouver dans l'étude de l'élément économique une base suffisante pour l'interprétation de l'histoire — ou à se contenter de vues superficielles sur le problème des relations entre différentes disciplines — par exemple en distinguant la science de la philosophie sur la base d'une distinction trop facile entre objectif et subjectif, ou réaliste et idéaliste. On éviterait cette confusion en réalisant que, de par sa méthode même, la science se borne à étudier un domaine limité d'un point de vue particulier et n'est pas qualifiée pour résoudre des problèmes d'éthique ou la question du libre-arbitre; ceux-ci appartiennent à la philosophie dont le domaine est plus large, le point de vue plus général et les méthodes différentes. En un mot, la vie scientifique est un aspect, non la totalité, de notre vie rationnelle.

Ces données éclairent le problème du rôle social de la science. Deux moyens distincts bien qu'inséparables s'offrent aux hommes de science pour remplir leurs devoirs vis-à-vis de leurs concitoyens. L'utilisation de la science pour l'amélioration de notre standard de vie constitue le premier de ces devoirs. Mais la science est si souvent et si facilement appliquée à des fins nuisibles que cette justification de son existence est tout-à-fait inadéquate. La science est une force sociale non parce qu'elle est utile, mais parce qu'elle mène à la vérité. Ceux dont le travail est essentiellement scientifique, qu'il s'agisse d'enseignement ou de recherche, peuvent remplir un rôle social important en se vouant à la protection, au progrès et à la diffusion de la science. Si l'on peut faire de la science une école de vie rationnelle, parce qu'elle est le modèle des méthodes rationnelles, elle devra nécessairement contribuer au progrès intellectuel et moral de ceux qui suivront ses méthodes.

En observant le développement intellectuel résultant d'un enseignement scientifique universitaire bien conduit, on admettra que le professeur de science contribue pour une large part à la formation générale des jeunes gens. La société entière profite de tous ces progrès individuels, sa vitalité dépendant de l'élan intellectuel et moral de chacun. Qui, d'autre part, niera que nos valeurs fondamentales, et surtout le respect de la vérité et de la dignité de la personne humaine, ont grandement besoin d'être réaffirmées? Or, la science peut être un de leurs plus solides soutiens, car elle a sur l'histoire, la philosophie ou la littérature cet avantage qu'aussi longtemps qu'elle est vivante, elle ne peut être tout-à-fait irrationnelle. La fausse science est facilement démasquée par des expériences faciles à reproduire, comme par les résultats négatifs des essais d'application. On ne peut forcer la nature; notre volonté, ni notre imagination ne l'influencent. Beaucoup d'autres disciplines peuvent au contraire être viciées par des erreurs plus difficilement éliminables et qui peuvent ruiner le travail d'écoles entières ou de générations d'érudits. En tous cas le prestige dont jouit actuellement la science aux yeux de la foule fait un devoir aux hommes de science de conserver une attitude rationnelle vis-à-vis de tous les problèmes scientifiques ou autres.

Examinons comment ces idées s'appliquent aux projets de développement de la science. Un programme de science pure est essentiellement différent d'un programme d'application de la science. Les recherches de technologie et dans une certaine mesure de science appliquée sont destinées à la solution de problèmes posés par une autorité indépendante — problèmes de santé publique ou de défense nationale par exemple. Mais le but de la science pure étant l'acquisition des connaissances, et non leur utilisation, elle doit suivre sa logique intérieure et n'être soumise à aucune autorité étrangère; toute tentative de contrainte serait fatale à la qualité du travail. Le rôle des autorités est de fournir des facilités, non de donner des ordres. Ceci s'applique même aux programmes établis par les autorités scientifiques elles-mêmes: des projets comportant une répartition précise du travail et supprimant tout chevauchement ne répondent pas à l'esprit de la science.

Les rayons cosmiques et leur origine

A. C. B. LOVELL

Il est maintenant généralement admis que les radiations cosmiques au niveau de la mer sont constituées principalement par deux composantes: la composante molle (électrons, positrons et photons) et la composante dure, qui contient surtout des mésons. Ces deux composantes seraient le résultat d'un processus secondaire dans l'atmosphère terrestre. Cet article donne une description brève d'expériences antérieures et de travaux récents.

LES ÉLECTRONS DANS LES RAYONS COSMIQUES

A basse altitude l'intensité des électrons dans les rayons cosmiques, qui est divisée presque également entre électrons positifs et négatifs, est environ 0,3 électrons par cm^2 par minute. Ceci représente à peu près 1/3 du nombre total des particules ionisantes des rayons cosmiques trouvées au niveau de la mer. La distribution de l'énergie de ces électrons a été mesurée jusqu'à 2×10^{10} eV (électron-volts). La limite supérieure n'est pas encore connue, mais elle est certainement plus grande que 10^{15} eV et peut-être même dépasse 10^{20} eV.

LES GERBES

Bethe et Heitler [1] ont appliqué la mécanique quantique à l'étude du passage de l'électron à travers la matière. On trouve que lorsque un électron de grande énergie traverse de la matière, il perd de l'énergie selon les deux mécanismes suivants:

(*a*) Par choc avec des électrons extra-nucléaires des atomes qu'il traverse. Si l'énergie communiquée pendant le choc est suffisante l'électron extra-nucléaire est chassé et l'atome ionisé. Si l'énergie n'est pas suffisante, l'atome est excité et émet un photon.

(*b*) Si l'électron passe près du noyau de l'atome il est soumis à des champs électriques qui l'accélèrent, il perd alors de l'énergie par radiation (production de photons).

L'application par Bhabha et Heitler [2] et par Carlson et Oppenheimer [3] de la théorie de Bethe et Heitler, donne une explication satisfaisante d'un des phénomènes que l'on observe fréquemment avec les rayons cosmiques: la formation de gerbes ou groupes simultanés d'électrons. La figure 1 illustre cette méthode de production des gerbes.

L'électron incident passe près du noyau d'un atome en α, un photon est émis et passe à son tour près du noyau d'un autre atome en β et produit une paire d'électrons (positif et négatif). Pendant ce temps le premier électron produit un photon en γ qui à son tour produit deux électrons en δ. Le processus se continue, le système perdant de l'énergie très rapidement. Si sur son parcours la gerbe d'électrons rencontre un nombre suffisant d'atomes la subdivision atteint un maximum, après quoi l'énergie des électrons est si faible qu'ils sont absorbés sans produire d'autres particules. La théorie des gerbes permet de calculer l'épaisseur de matière nécessaire pour produire

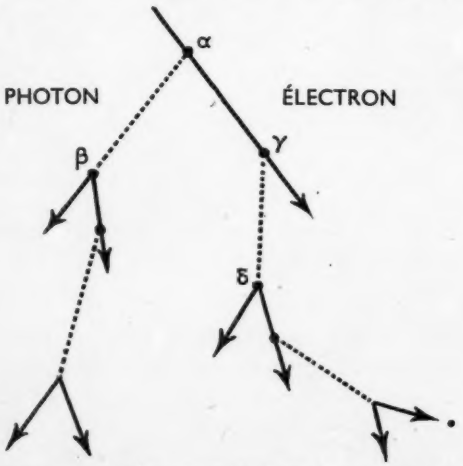


FIGURE 1 – *Diagramme illustrant le processus de production d'une gerbe.*

un nombre maximum de particules. Cette épaisseur croît avec l'énergie des électrons primaires.

La figure 3 montre une photographie d'une gerbe d'électrons de ce type, obtenue dans une chambre de Wilson. Dans la moitié supérieure de la photographie les particules sont des électrons positifs et négatifs d'énergie variant de 5×10^7 eV à 4×10^8 eV. Ces particules forment

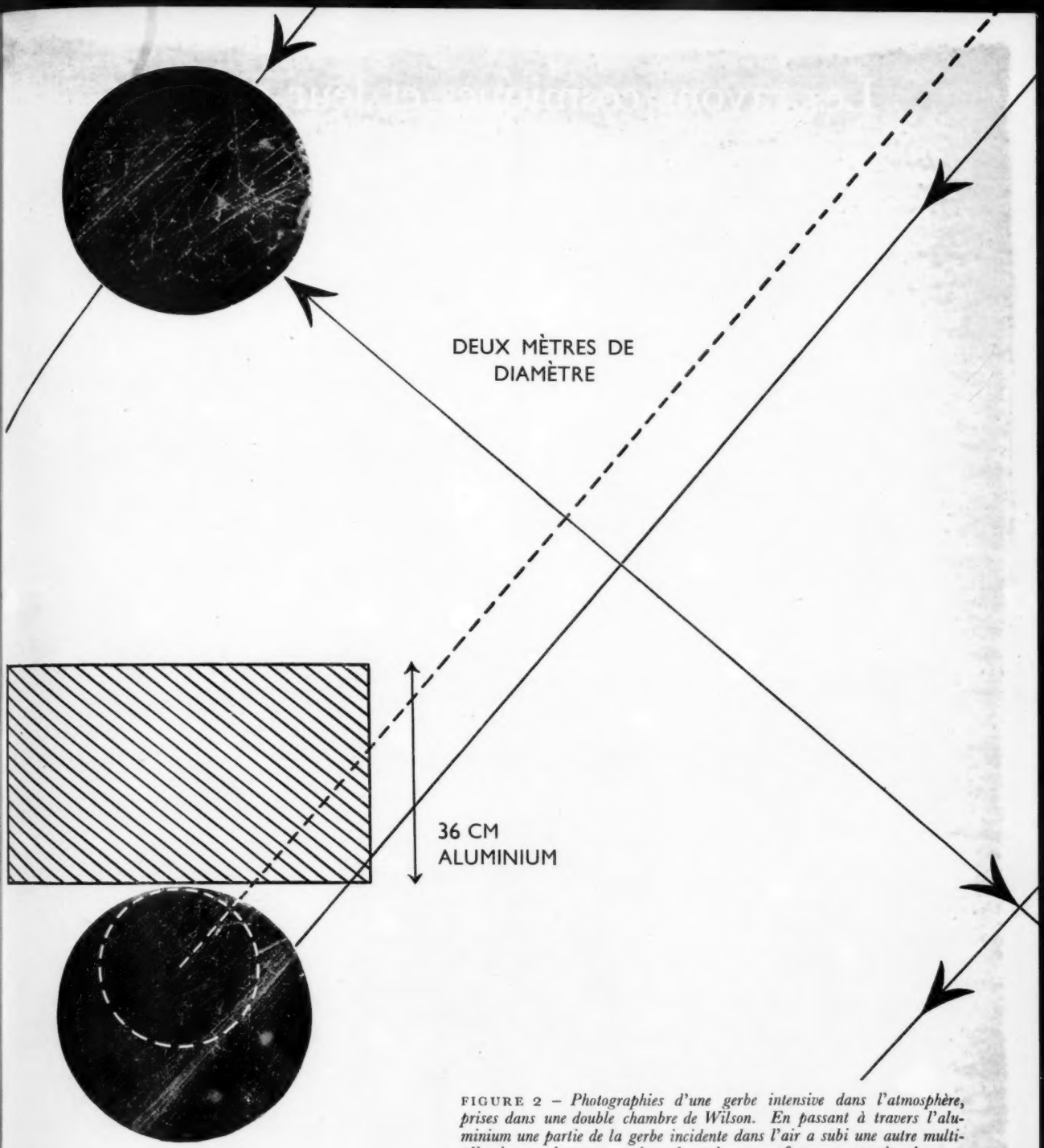
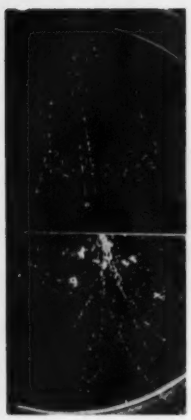


FIGURE 2 – *Photographies d'une gerbe intensive dans l'atmosphère, prises dans une double chambre de Wilson. En passant à travers l'aluminium une partie de la gerbe incidente dans l'air a subi une autre multiplication par le processus de gerbe et donne une forte concentration de traces dans la photographie inférieure. Ces photographies ont été obtenues avec l'appareillage de la figure 5. La direction supposée des particules provenant de la gerbe qui a donné naissance à ces traces nombreuses est indiquée par le trait plein. Cette ligne passe beaucoup plus près du bord du bloc d'aluminium qu'elle ne devrait car cette figure n'est pas à l'échelle. (La disposition correcte, à l'echelle, de la chambre de Wilson et de la ligne centrale est indiquée en pointillé.) Il est estimé que la plus grande partie de la gerbe est produite dans un cylindre d'environ deux mètres de diamètre, indiqué par les lignes extérieures, et contenait probablement 50.000 particules de très haute énergie.* (Photographie du Dr J. C. Wilson et l'auteur.)

ÉCHELLE

0 10 20 30 40 50 60 CMS



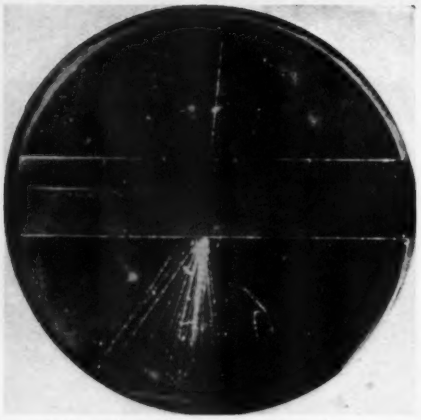


FIGURE 3 (*à gauche*) – *Gerbe typique d'électrons et de positrons. La chambre de Wilson était placée dans un champ magnétique de* 10.000 *gauss. Le moment était mesuré par la courbure des trajectoires.*

(*Photographie du Dr J. G. Wilson.*)

FIGURE 4 (*à droite*) – *Photographie d'une gerbe par collision; la particule de la partie supérieure a déjà traversé* 20 *cm de plomb et est un méson qui produit une gerbe d'électrons et de positrons dans la plaque de plomb se trouvant au centre de la chambre. (La plaque avait* 1,8 *cm d'épaisseur mais une boîte métallique contenant un compteur Geiger était posée sur la plaque.)*

(*Photographie de l'auteur.*)

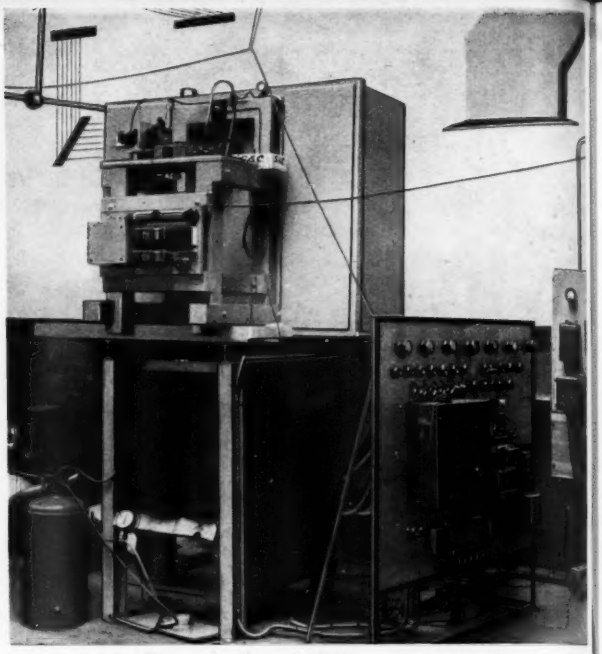
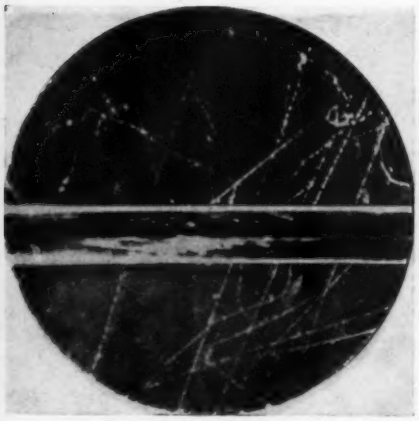
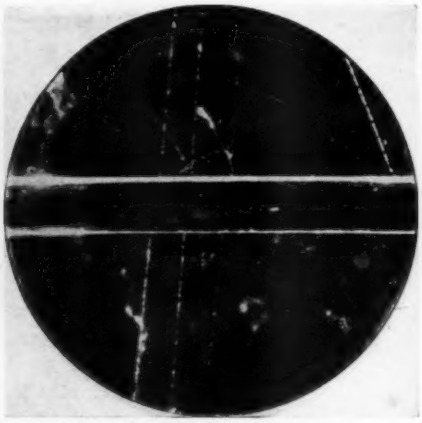
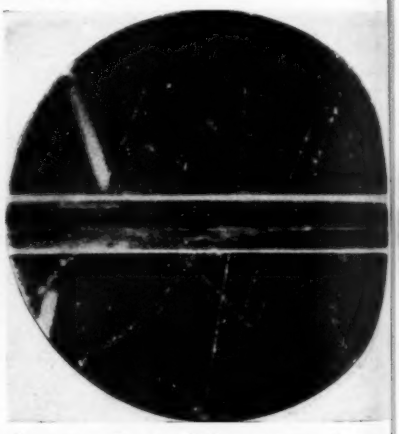


FIGURE 5 – *Deux chambres de Wilson, disposées selon la même verticale, séparées par* 36 *cm d'aluminium; la gerbe de la figure* 2 *fut photographiée avec cet appareillage; la chambre inférieure était soumise à un champ magnétique de* 1.000 *gauss. Une partie du ventilateur est visible à l'extrême gauche.*







FIGURES 6, 7, 8 – *Exemples de photographies de chambre de Wilson avec l'appareillage de la figure* 10. *Les particules ont traversé* 53 *cm de plomb avant d'opérer la chambre. Comme elles ont traversé une plaque de plomb de* 2 *cm sans se multiplier ce sont des mésons.*

(*Photographies de Dr Rochester.*)

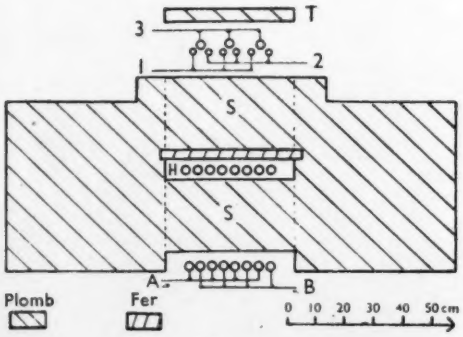


FIGURE 9 – *Dispositif de compteurs usé par Jánossy et Ingleby pour prouver l'existence de gerbes de mésons. Le poids de plomb employé pour cette expérience est de* 15 *tonnes.*

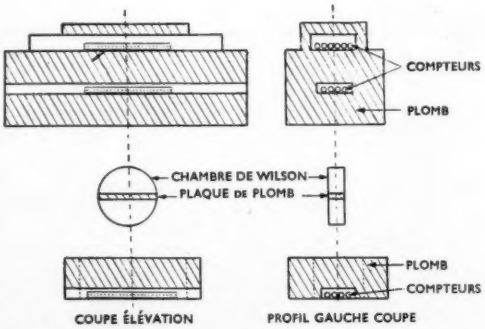


FIGURE 10 – *Dispositif de chambre de Wilson, contrôlée par des compteurs, utilisé par Rochester pour photographier les gerbes de mésons.*

une partie d'une gerbe dont l'origine se trouve hors de la chambre, probablement dans l'atmosphère. En passant à travers une feuille d'or de 2 cm d'épaisseur qui se trouve au milieu de la chambre, les électrons forment une gerbe.

Avec un tel processus les électrons et les photons secondaires sont projetés dans la direction de l'électron incident, mais il est évident que si l'électron primaire a une grande énergie un nombre important de particules secondaires sera produit dans la gerbe qui finira par couvrir une grande surface. L'existence de gerbes extensives dans l'atmosphère a été découvert par Auger et ses collaborateurs en 1939 [4]; ils observèrent des coïncidences avec des compteurs Geiger qui étaient séparés par des distances allant jusqu'à 300 mètres. En 1939 également, Lovell et Wilson [5] ont obtenu des photographies d'une portion de ces gerbes à l'aide de deux chambres de Wilson séparées par des distances allant jusqu'à 20 mètres, et aussi en disposant deux chambres sur la même verticale; elles ne fonctionnaient que si elles étaient traversées simultanément par un grand nombre d'électrons. La figure 2 est une photographie d'une de ces gerbes, elle contient au moins 50.000 particules.

La figure 5 est une photographie du dispositif avec lequel cette gerbe a été obtenue. De gerbes aussi extensives sont rares.

ORIGINE DES ÉLECTRONS DANS LES RAYONS COSMIQUES

La théorie des gerbes ne traite pas la question de l'origine de l'électron primaire qui engendre la gerbe. A l'exception de quelques très grandes gerbes, les électrons trouvés au niveau de la mer ne peuvent être le résultat direct d'électrons primaires venant de l'espace (ceux de très grande énergie exceptés) puisque le libre parcourt des électrons primaires serait insuffisant. Cependant, on sait maintenant que deux autres processus capables de produire des électrons ou des gerbes d'électrons peuvent expliquer l'existence des électrons dans les rayons cosmiques à basse altitude; ce sont (*a*) la transformation d'un méson en électron, (*b*) la production de gerbes d'électrons par le choc direct des mésons.

Transformation des mésons. Anderson et Neddermeyer [6] ont montré en 1937 que des particules de masse intermédiaire entre celle des électrons et celle des protons étaient présentes dans les rayons cosmiques. Il devint évident que ces particules étaient responsables de ce que l'on appelle la composante pénétrante. La masse de ces mésons est estimée à environ 180 fois la masse de l'électron et ils possèdent la même charge (positive ou négative). Pour expliquer les forces nucléaires, Yukawa [7] en 1935 a été amené a postuler l'existence d'une telle particule. Sa théorie supposait également que cette particule se désintègre spontanément en un électron et un neutrino, et que sa vie est d'environ 10^{-7} sec.

Les résultats expérimentaux obtenus quelque temps plus tard confirmèrent ces hypothèses. On a trouvé notamment que l'absorption des mésons différait pour des masses équivalentes d'éléments lourds ou d'air. Ce phénomène ne s'explique que si, en plus de l'absorption dépendant de la masse, il y a désintégration spontanée des particules, qui croît avec l'espace parcouru. On a trouvé expérimentalement que la vie moyenne d'un méson au repos est de 2×10^{-6} sec, ce qui concorde avec la théorie de Yukawa. En 1940 Williams et Roberts [8] ont obtenu une photographie d'une chambre de Wilson avec la trajectoire d'un méson arrêté par le gaz, et un électron continuant la trajectoire du méson.

Le processus de transformation du méson donne naissance aux électrons dans les rayons cosmiques. En outre, si un méson possédant une grande énergie cinétique se transforme en électron, ce dernier aura également une grande énergie et donnera naissance à une gerbe d'électrons.

Gerbes produites par collisions. Dans le cas des mésons, la théorie des quanta prédit que le mécanisme principal de perte d'énergie est celui de la collision avec des électrons extra-nucléaires qui sont alors capables de produire une gerbe. Ce mécanisme rend compte de l'existence des électrons trouvés sous de grandes épaisseurs de plomb, ou dans des mines profondes. Ceci peut être mis en évidence dans une chambre de Wilson placée sous une épaisseur de 20 cm de plomb. La probabilité pour un électron de grande énergie de traverser une telle épaisseur sans produire de gerbe est négligeable. Par conséquent la plus grande partie des particules isolées apparaissant au-dessous du plomb seront des mésons. Quand ces particules traversent une plaque de plomb disposée au centre de la chambre de Wilson elles produisent parfois des gerbes dans la plaque. La figure 4, par exemple, montre dans la partie supérieure de la chambre une particule isolée qui a déjà traversé 20 cm de plomb et qui est par conséquent un méson. En passant à travers la plaque de plomb il heurte un électron qui produit alors une gerbe ordinaire.

Le nombre et la dimension des gerbes trouvées avec ce dispositif est en accord avec les calculs théoriques basés sur le mécanisme cité plus haut.

L'ORIGINE DES MÉSONS

Le mécanisme de collision par lequel un méson se transforme en un électron nous fournit une explication du nombre d'électrons trouvés dans les rayons cosmiques au niveau de la mer. Le fait que les mésons se transforment spontanément, avec une vie de 10^{-6} sec, signifie qu'ils doivent être créés près de la surface terrestre. En supposant qu'ils soient créés dans l'atmosphère les questions qui se posent sont: Quelles sont les particules primaires et par quel mécanisme les mésons sont-ils formés, à l'état isolé, par paires (positifs et négatifs) ou en gerbe de mésons simultanés? En 1939 Braddick et Hensby [9] ont obtenu une photographie de chambre de Wilson montrant la création d'une paire de mésons. Le travail fait à Manchester durant la guerre par Jánossy, Rochester et leurs collaborateurs a probablement résolu le problème.

Méthodes expérimentales utilisant les compteurs. La première preuve de l'existence de gerbes de particules pénétrantes a été obtenue par Jánossy et Ingleby [10] qui ont utilisé l'appareillage illustré sur la figure 9. Des expériences similaires ont étaient faites indépendamment au Brésil par Wataghin et ses collaborateurs [11]. Cet appareillage a enregistré des coïncidences quintuples entre les six séries de compteurs 1 – 2 – 3 – A – B et le nombre de particules impliquées dans ces coïncidences était donné par les 8 compteurs H qui contrôlaient de petits indicateurs au néon. Les résultats obtenus ne peuvent être interprétés que si l'on suppose que les gerbes produisant les coïncidences sont composées de particules pénétrantes simultanées. Les résultats, avec ou sans l'absorbant T, montrèrent que moins de la moitié des gerbes pénétrantes viennent de l'atmosphère et que le reste est produit dans l'absorbant.

Des expériences analogues, mais moins poussées, faites par Jánossy et Rochester [12] entre 1940 et 1943 donnent les informations suivantes:

(*a*) Quelques-unes des gerbes pénétrantes s'étendent sur une grande surface;

(*b*) Environ un tiers des gerbes pénétrantes sont produites par une radiation non ionisante plus pénétrante que les photons (probablement par des neutrons).

Expériences avec des chambres de Wilson. En 1944 Rochester [13] obtint 30 photographies avec une chambre contrôlée par un compteur (dispositif donné figure 10).

La chambre était opérée par une coïncidence septuple, ce qui signifie que 95% des coïncidences étaient dues à des gerbes pénétrantes; 18 de ces photographies montrèrent des particules traversant une plaque de plomb de 2,3 cm, placée au milieu de la chambre, sans se multiplier (ce qui montre que c'étaient des mésons), et 9 de ces 18 photographies montrèrent des gerbes de 2 particules ou plus. Des exemples de ces photographies sont donnés dans les figures 6, 7 et 8: elles démontrent sans aucun doute l'existence des particules pénétrantes simultanées.

La théorie de l'origine des mésons. La théorie de Hamilton, Heitler et Peng [14] sur l'origine des mésons paraît donner la meilleure explication des résultats expérimentaux cités plus haut. Dans cette théorie les particules primaires sont des protons. Un méson unique est le résultat d'une collision inélastique d'un proton avec un autre proton ou un neutron, alors qu'une gerbe de mésons est le résultat d'une collision d'un proton primaire avec un noyau contenant plusieurs protons. Heitler et ses collaborateurs au « Dublin Institute for Advanced Studies » sont actuellement en train d'étudier ce problème. On ne sait pas encore avec certitude si des protons incidents sur les couches supérieures de l'atmosphère suffisent seule à expliquer la production de la composante molle au niveau de la mer, ou s'il est nécessaire de postuler la présence d'électrons de grande énergie dans le rayonnement incident pour rendre compte des gerbes extensives de l'air trouvées au niveau de la mer.

L'ORIGINE DES PARTICULES COSMIQUES INCIDENTES AUX COUCHES SUPÉRIEURES DE L'ATMOSPHÈRE

Des expériences récentes et des travaux théoriques montrent que les particules cosmiques incidentes à l'atmosphère terrestre peuvent être des protons. On ne connaît cependant ni le mécanisme de création de ces particules ni leur origine. Plusieurs hypothèses spéculatives ont été émises, en particulier que ce rayonnement est dû à la création ou à l'annihilation de la matière dans les espaces inter-stellaires. Le seul fait expérimental connu est que l'intensité de ce rayonnement, reçu par l'atmosphère terrestre, est environ 30 particules par cm^2 et par minute, et que l'énergie moyenne de ces particules est environ 6×10^9 eV. L'énergie absorbée par la terre est donc $1{,}8 \times 10^{11}$ eV par cm^2 et par

minute; en considérant que le rayon terrestre est approximativement 6.500 kilomètres ceci représente un flux d'énergie sur la surface totale de l'atmosphère de $1,5 \times 10^{18}$ ergs/minute. Un cheval vapeur est équivalent à $7,46 \times 10^{9}$ ergs/sec, donc l'énergie totale des rayons primaires est approximativement de $3,4 \times 10^{6}$ c.v. C'est cependant infiniment petit comparé avec l'énergie solaire (5×10^{22} c.v.) dont 10^{14} c.v. sont absorbées par la surface de la terre.

LA TROISIÈME COMPOSANTE DES RAYONS COSMIQUES

Bien que les électrons et les photons (composante molle) et les mésons (composante dure) forment la presque totalité des particules trouvées dans les rayons cosmiques au niveau de la mer, il existe cependant une troisième composante, extrêmement petite, qui représente environ 1/10.000ème de l'intensité totale des rayons cosmiques au niveau de la mer. Cette partie contient des protons positifs et probablement des protons négatifs, bien que, jusqu'à présent, aucune preuve expérimentale n'ait été obtenue. Cette partie doit contenir également des neutrons ou particules neutres plus pénétrantes que les photons, sinon les résultats obtenus par Jánossy et Rochester sur la production des gerbes pénétrantes dans un absorbant ne peuvent pas être expliqués.

RECHERCHES FUTURES

Les recherches sur les rayons cosmiques deviennent rapidement de plus en plus difficiles et coûteuses au point de vue technique car pour vérifier expérimentalement les hypothèses citées dans cet article il serait nécessaire d'expérimenter dans la haute atmosphère pour découvrir la nature des particules incidentes et le mécanisme de formation des mésons. De telles expériences demandent des ballons stratosphériques, des avions adaptés aux hautes altitudes et équipés de chambres de Wilson et de compteurs spécialement construits pour ce travail. Des fusées genre V2 pourraient être utiles pour ces expériences. Pour les mesures de la distribution d'énergie au niveau de la mer à des énergies dépassant 10^{10} eV il faut envisager la construction d'un aimant puissant. La construction d'un spectrographe magnétique à deux aimants de 10.000 gauss est en projet à Manchester, et, là aussi, on étudie la possibilité d'employer la radiolocation pour détecter les grandes gerbes atmosphériques.

CONCLUSION

Les particules incidentes sur l'atmosphère terrestre sont probablement des protons; dans les couches supérieures de l'atmosphère ceux-ci produisent, par collision avec les protons, les neutrons et les noyaux des atomes, des mésons positifs et négatifs, isolés ou en gerbe. Les mésons produisent des électrons et des photons: (*a*) par désintégration en un électron et un neutrino: (*b*) par collision avec un électron (dans les deux cas l'électron créé produit une gerbe). Au niveau de la mer l'intensité du faisceau résultant de rayons cosmiques est évaluée à environ une particule par cm^2 et par minute, dont un tiers sont des électrons. Il est possible, cependant, que quelques-unes des plus grandes gerbes extensives de l'air ne soient pas produites par ces mécanismes, mais qu'elles demandent la présence dans le faisceau de protons et d'électrons de grande énergie (10^{15} à 10^{20} eV). On trouve un petit nombre de protons, et peut-être de neutrons, au niveau de la mer mais ils ne forment que la 1/10.000ème partie de l'intensité des rayons cosmiques.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Bethe et Heitler. *Proc. Roy. Soc.*, 1934, **146**, 83.
[2] Bhabha et Heitler. *Proc. Roy. Soc.*, 1937, **159**, 432.
[3] Carlson et Oppenheimer. *Phys. Rev.*, 1937, **51**, 220.
[4] Auger, Maze, Ehrenfest et Fréon. *Jour. de Phys.*, 1939, **10**, 39.
[5] Lovell et Wilson. *Nature*, 1939, **144**, 863.
[6] Anderson et Neddermeyer. *Phys. Rev.*, 1937, **51**, 884.
[7] Yukawa. *Proc. Phys. Math. Soc.*, Japan, 1935, **17**, 48.
[8] Williams et Roberts. *Nature*, 1940, **145**, 102.
[9] Braddick et Hensby. *Nature*, 1939, **144**, 1012.
[10] Jánossy et Ingleby. *Nature*, 1940, **145**, 511.
[11] Wataghin, Souza Santos, et Pompeia. *Phys. Rev.*, 1940, **57**, 61.
[12] Jánossy et Rochester. *Proc. Roy. Soc.*, 1943, **182**, 180; Jánossy, Rochester, et Broadbent. *Nature*, 1945, **155**, 142.
[13] Rochester. *Nature*, 1944, **154**, 399.
[14] Hamilton, Heitler, et Peng. *Phys. Rev.*, 1943, **64**, 78.

Revue des livres

LA NATURE ET L'EMPLOI DES COLLOÏDES

Colloids. Their Properties and Applications, *par A. G. Ward. Pp.* 133. *Blackie & Son Limited, Londres.* 1945. *Prix net* 5*s.*

Cet admirable petit volume donne un aperçu très clair et bien équilibré, à l'usage du lecteur non spécialisé dans cette branche, des propriétés des colloïdes, des méthodes employées pour leur étude et de quelques-unes de leurs principales applications industrielles; les applications à la biologie y sont aussi traitées, mais moins complètement. On y trouve un compte-rendu bref, mais clair, des idées modernes relatives à la structure atomique de la matière et à la force de cohésion au sein de la matière. Parmi les colloïdes industriels étudiés, citons le caoutchouc et les caoutchoucs synthétiques, les fibres naturelles et de synthèse, les argiles, les peintures, les adhésifs, etc. L'auteur ne cherche pas à entrer dans les détails, mais il serait difficile de le surpasser dans la façon claire avec laquelle il expose les propriétés physiques et chimiques de ces substances et leur relation avec leurs propriétés utilisables dans un ouvrage aussi concis.

N. K. ADAM

LA MÉCANIQUE DES ONDES À L'USAGE DES DÉBUTANTS

Elementary Wave Mechanics, *par W. Heitler. Pp. viii* + 136. *University Press, Oxford.* 1945. *Prix net* 7*s.* 6*d.*

M. Heitler, maintenant professeur au Institute for Advanced Study, de Dublin, est célèbre par ses remarquables contributions à la théorie quantique du rayonnement; il fit, de concert avec London, le premier pas important pour la compréhension de la théorie quantique de la liaison chimique. Comme son livre antérieur sur la radiation nous permettait de le supposer, nous trouvons ce nouveau volume relatif à la mécanique élémentaire des ondes, et composé d'une série de conférences faites aux étudiants en physique et en chimie de Dublin, d'une lecture aisée. Cet couvrage est destiné à des lecteurs sans connaissances préalables du sujet et n'ayant pas de notions particulières en mathématiques. Les mathématiques y sont réduites au minimum, mais un choix judicieux des méthodes permet d'expliquer de façon étonnante, ou, tout au moins, de rendre plausible, une grande partie des chapitres les plus compliquées du sujet. Il est agréable de trouver un livre qui justifie son titre d'*élémentaire*, tout en n'étant pas un ouvrage de vulgarisation.

Un livre de 136 pages ne peut évidemment pas contenir tout, même en ce qui concerne la mécanique élémentaire des ondes. Mais on ne peut s'empêcher de regretter l'absence de mention des problèmes de dispersion, de structure du noyau, de cohésion métallique, d'oscillateurs et de rotateurs harmoniques et des règles de sélectivité, la majorité desquels trouvent place dans les traités les plus élémentaires. Toutefois dans le cadre restreint fixé par l'auteur, on trouve un exposé très clair du sens et de la dérivation de l'équation de Schrödinger relative aux ondes, et de son application à la structure de l'atome et à la formation des molécules.

C. A. COULSON

LES RAYONS X DANS L'ÉTUDE DES MÉTAUX

An Introduction to X-ray Metallography, *par A. Taylor. Pp.* 400. *Chapman & Hall Limited, Londres.* 1945. *Prix net* 36*s.*

Les rayons X ont trouvé tant d'applications importantes dans l'étude des métaux qu'une certaine connaissance du sujet est devenue indispensable pour tout travail de recherche en métallurgie. Le livre du Dr Taylor remplit admirablement le but qu'il se propose et qui est la description des méthodes employant les rayons X pour l'étude des structures métalliques et l'indication des principaux résultats obtenus. Le lecteur trouvera des renseignements qui lui permettront de choisir le meilleur type de tube et le meilleur échantillon pour un travail donné. On trouvera un exposé de la façon dont l'arrangement des atomes dans un solide affecte le dessin des rayons X, des modes de détermination des limites de phase dans les diagrammes d'équilibre thermique et des textures dans les structures ayant subi une déformation mécanique, ainsi que la mesure du grain. On trouve enfin une description de l'emploi des rayons X à l'étude des produits moulés et forgés, procédé non basé sur la structure cristalline. Cette partie comprend une section relative à la microradiographie faisant usage de coupes minces d'alliages, méthode employée par Heycock, mais qui maintenant ne semble pas présenter d'avantages sur les méthodes microscopiques. Les théories étant bien expliquées et les méthodes clairement illustrées, le livre sera précieux pour les métallographes. Bien qu'il soit publié conformément aux règles d'économie imposées par la guerre, l'impression et la forme sont toutes deux de qualité.

C. H. DESCH

LES ENGRAIS CHIMIQUES: LE POUR ET LE CONTRE

Chemicals, Humus, and the Soil, *par Donald P. Hopkins. Pp.* 278. *Faber & Faber Limited, Londres.* 1945. *Prix net* 12*s.* 6*d.*

Ce livre est admirable. On y examine de la façon claire, simple et objective d'un juge expérimenté présentant un cas aux jurés, les accusations portées par l'école « pro-humus anti-engrais artificiels». En somme, ce livre est un résumé des faits, divisé en deux parties: I, les arguments en faveur des engrais artificiels; II, les arguments contre. La partie I se développe sur le plan habituel, et un nombre important de preuves scientifiques sérieuses est exposé en termes justes et mesurés. C'est dans la partie II que l'auteur se distingue. Il eut été facile d'adopter l'attitude excessive de l'école du « Fumier et du Mystère» (muck and mystery school) comme cible. Au lieu de cela l'auteur porte son analyse sur les données sobres des écrivains « pro-humus». Sa tâche est difficile, car certains de ces auteurs sont — inconsciemment peut-être — d'experts tacticiens de la guerilla, abandonnant une position devenue intenable pour une autre et envoyant des flèches empoisonnées contre les Stations Expérimentales et les méthodes statistiques. Mais dans la partie II l'auteur cerne ses adversaires et montre de façon convaincante que les témoignages « pro-humus» (et ils sont nombreux) ne sont pas forcément anti-engrais chimiques. On arrive à la conclusion que l'humus et les engrais chimiques sont tous deux nécessaires en conjonction. Ils sont complémentaires — non pas antagonistes.

B. A. KEEN